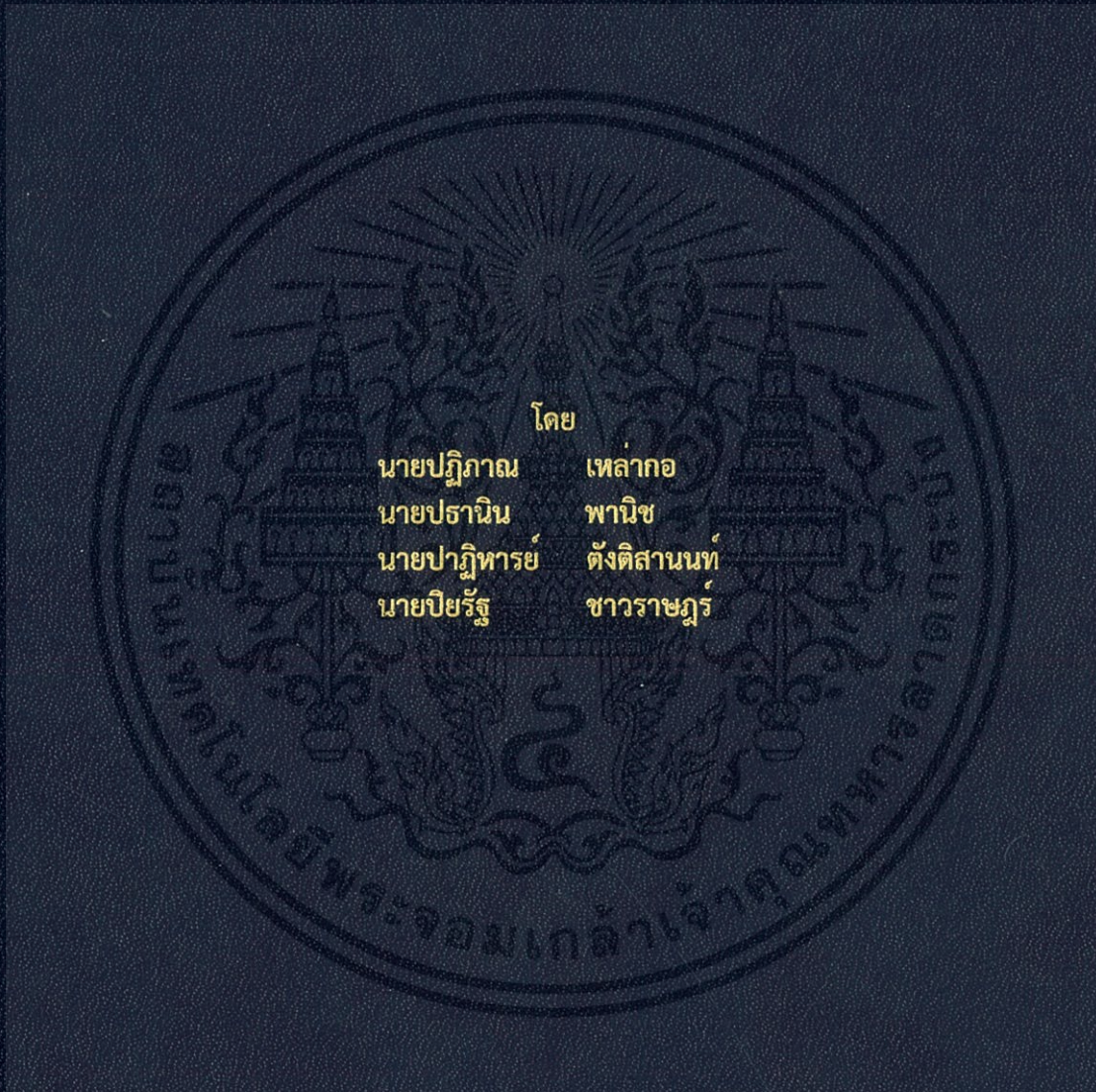


การพัฒนาและปรับปรุงรถเข็นไฟฟ้า
Development and Improvement of Electric Wheelchair



โดย

นายปฏิภาณ	เหล่ากอ
นายปรานิน	พานิช
นายปาฏิหารย์	ตั้งติสานนท์
นายปิยรัฐ	ชาวราชภูร์

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2560

การพัฒนาและปรับปรุงรถเข็นไฟฟ้า
Development and Improvement of Electric Wheelchair



ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2560

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Development and Improvement of Electric Wheelchair



THIS PROJECT SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT OF THE REQUIREMENT
FOR THE DEGREE OF BACHELOR OF ELECTRICAL ENGINEERING
DEPARTMENT OF ELECTRICAL ENGINEERING FACULTY OF ENGINEERING
KING MONGKUT'S INSITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

2017

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปีการศึกษา 2560

การพัฒนาและปรับปรุงรถเข็นไฟฟ้า

Development and Improvement of Electric Wheelchair



อาจารย์ที่ปรึกษา

รองศาสตราจารย์ ดร.อนุวัฒน์ จางวนิชเลิศ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญาานิพนธ์ปีการศึกษา 2560

ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า

คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เรื่อง การพัฒนาและปรับปรุงรถเข็นไฟฟ้า

ผู้จัดทำ

1. นายปฏิภาณ เหล่ากอ
2. นายปรานิน พานิช
3. นายปาฏิหารย์ ตั้งติสานนท์
4. นายปิยรัฐ ชาวราษฎร์



..... (อาจารย์ที่ปรึกษา)

(รองศาสตราจารย์ ดร.อนุวัฒน์ จางวนิชเลิศ)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นำไปเผยแพร่หรือใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การพัฒนาและปรับปรุงรถเข็นไฟฟ้า

นายปฏิภาณ	เหล่ากอ
นายชานิน	พานิช
นายปาฏิหารย์	ตั้งติสานนท์
นายปิยรัฐ	ชาวราษฎร์
รศ.ดร.อนุวัฒน์	จางวนิชเลิศ อาจารย์ที่ปรึกษา
ปีการศึกษา 2560	

บทคัดย่อ

ปริญญานิพนธ์นี้จัดทำขึ้นเพื่อตอบสนองปัญหาการเคลื่อนที่ของผู้สูงอายุ ผู้พิการ หรือผู้ป่วยที่ไม่สามารถเคลื่อนที่เองได้ โดยจำเป็นต้องใช้รถเข็นและที่ผ่านมามีการสร้างรถเข็นไฟฟ้าโดยใช้มอเตอร์กระแสตรงแบบไร้แปรงถ่านเป็นตัวขับเคลื่อน ส่งผลให้รถเข็นไฟฟ้ารองรับโหลดได้น้อยและประสิทธิภาพการทำงานของมอเตอร์ต่ำไม่สามารถขับเคลื่อนในพื้นที่ผิวขรุขระหรือพื้นเอียงได้ ทางกลุ่มผู้จัดทำจึงได้ทำการพัฒนาและปรับปรุงโดยใช้มอเตอร์กระแสตรงแบบไร้แปรงถ่านเป็นตัวขับเคลื่อนแทนซึ่งในโครงการนี้ได้ทำการออกแบบรถเข็นไฟฟ้าที่สามารถปรับความเร็วและควบคุมทิศทางด้วยมือโดยรถเข็นไฟฟ้านี้ใช้มอเตอร์กระแสตรงชนิดไร้แปรงถ่านขนาด 24V พิกัดกำลัง 250W วงจรแปลงผันกำลังไฟฟ้าใช้มอสเฟตเป็นสวิตช์โดยสวิตช์ที่ความถี่ 10 kHz การควบคุมความเร็วของมอเตอร์ใช้ไอซีเบอร์ MC33033 ทำหน้าที่ปรับความกว้างของสัญญาณขับนำสวิตช์ในวงจรแปลงผันกำลังไฟฟ้าให้สอดคล้องกับการบิดคันเร่งและสัญญาณตำแหน่งของมอเตอร์จากเอนโคเดอร์ จากการทดสอบรถเข็นไฟฟ้านี้สามารถวิ่งได้ด้วยความเร็วตั้งแต่ 5-20 กิโลเมตรต่อชั่วโมงที่ระดับพื้นสามารถขับเคลื่อนขึ้นระดับพื้นเอียง 15 องศา และสามารถรองรับโหลดได้ตั้งแต่ 40-100 กิโลกรัม

Development and Improvement of Electric Wheelchair

Mr. Patipan

Laokor

Mr. Pathanin

Panich

Mr. Patiharn

Tangtisanon

Mr. Piyarat

Chawwarat

Assoc.Prof.Dr.Anuwat Jangwanitlert Supervisor

Year 2016

Abstract

This project proposes of the response and solve problem for the elder, the disabled and the sick people who are inconvenient to move. So, they need to use the electric wheel chair with speed and direction control to move. The project presents the development and design for the electric wheel chair from the previous by changing motor from brushed dc motor to 24V 250W brushless dc motor and using IC 'MC33033' for controlling of MOSFETs in DC-DC Chopper. The DC-DC chopper in this project includes 6 switches MOSFETs with frequency of 10 kHz by using IC 'MC33033' to control speed and adjusting the pulse-width of switch MOSFETs to match with twisted accelerator and signal position of motor from encoder. From the test result, this electric wheel chair has velocity 5-20 km/hr on plane and it is able to run up to 15-degree slope from ground and that the available load is 40-100 kg.

กิตติกรรมประกาศ

ปริญญาานิพนธ์ฉบับนี้สามารถสำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี เนื่องจากได้รับการช่วยเหลือและสนับสนุนด้วยดีจากหลายท่านโดยเฉพาะอย่างยิ่งขอขอบคุณ รองศาสตราจารย์ ดร.อนุวัฒน์ จางวนิชเลิศ อาจารย์ที่ปรึกษาโครงการ ที่ได้กรุณาให้ข้อเสนอแนะและข้อคิดเห็นต่างๆที่เป็นประโยชน์ต่อโครงการมา ด้วยดีตลอดและได้กรุณาตรวจแก้ไขปริญญาานิพนธ์จนสำเร็จเรียบร้อยเป็นอย่างดี

ขอขอบคุณรุ่นพี่นักศึกษาในห้องปฏิบัติการที่ได้สนับสนุนเครื่องมือและอุปกรณ์ต่างๆในการทำการวิจัย และช่วยแนะนำแก้ปัญหาด้วยดีมาโดยตลอด ขอขอบคุณ คุณนครศักดิ์ เจ้าหน้าที่ห้องปฏิบัติการที่ให้เบิกใช้เครื่องมือ ตลอดจนเจ้าหน้าที่ห้องธุรการที่ให้คำแนะนำเกี่ยวกับการเบิกใบเสร็จของโครงการและขอขอบคุณ คุณโกวิท สุขสวัสดิ์ เจ้าของร้านโกวิทการช่าง ที่ช่วยสนับสนุนและให้คำแนะนำในการดำเนินการจัดทำรถเข็นไฟฟ้าให้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

นอกจากนั้น ผู้จัดทำต้องขอบคุณ อาจารย์ ดุสิต สุขสวัสดิ์ ที่ได้กรุณาสนับสนุนอุปกรณ์เครื่องมือในการจัดทำรถเข็นไฟฟ้าและให้ข้อเสนอแนะ ข้อคิดเห็นต่างๆที่เป็นประโยชน์ด้วยดีมาตลอด

สุดท้ายนี้คณะผู้จัดทำ ขอกราบขอบพระคุณ บิดามารดา และครอบครัวซึ่งให้การสนับสนุนในด้านการเงินและให้กำลังใจอีกทั้งเพื่อนๆ พี่ๆ น้องๆ ที่ให้ความช่วยเหลือในการจัดหาอุปกรณ์ต่างๆในการทำโครงการครั้งนี้จนสำเร็จได้ด้วยดี จึงขอขอบคุณไว้ ณ ที่นี้ด้วยครับ

คณะผู้จัดทำ

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อ	I
ABSTRACT	II
กิตติกรรมประกาศ	III
สารบัญ	IV
สารบัญรูป	VIII
สารบัญตาราง	XI
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา	1
1.2 วัตถุประสงค์	1
1.3 ขอบเขตการดำเนินการ	1
1.4 วิธีการที่ใช้ในการทำโครงงาน	1
1.5 ตารางการดำเนินโครงงาน	2
1.6 ประโยชน์ที่ได้รับจากการวิจัย	3
บทที่ 2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง	4
2.1 บทนำ	4
2.2 มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบไร้แปรงถ่าน	4
2.2.1 ความหมายและรูปแบบของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบไร้แปรงถ่าน	4
2.2.2 หลักการทำงานของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบไร้แปรงถ่าน	5
2.2.3 ทฤษฎีการควบคุมมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบไร้แปรงถ่าน	7
2.2.4 การควบคุมแบบฟูลบริดจ์ (Full-Bridge) ของเฟส 1 และ 2 เฟส	10
2.3 ไอซีเบอร์ MC33033	14
2.3.1 คุณสมบัติของไอซี MC33033	14
2.3.2 โครงสร้างของ MC33033	16
2.3.3 กำหนดคาบเวลาการทำงานของไอซีเบอร์ MC33033	17
2.4 ทฤษฎีและหลักการทำงานของ Battery	18
2.4.1 ทฤษฎีและหลักการชาร์จแบตเตอรี่	18
2.4.2 คุณสมบัติแบตเตอรี่	19

2.4.3 ประเภทของแบตเตอรี่	20
2.4.4 แบตเตอรี่ลิเทียม-ไอออน	21
2.4.5 การบำรุงรักษาแบตเตอรี่แบบแห้ง	22
2.4.5.1 การจ่ายกระแสไฟฟ้า	22
2.4.5.2 การประจุไฟ	23
2.4.6 ระบบชาร์จ	23
2.4.6.1 การชาร์จแบตเตอรี่ลิเทียม-ไอออน	23
2.4.6.2 หลักการชาร์จแบตเตอรี่ลิเทียม-ไอออน	25
2.4.7 การนำแบตเตอรี่ไปใช้งาน	26
2.5 ทฤษฎีมอสเฟต	26
2.5.1 มอสเฟต	26
2.5.2 การไบอัสมอสเฟตนำกระแส	28
2.5.3 ย่านการทำงานของมอสเฟต	30
2.5.3.2 ช่วงเชิงเส้น (Linear Region)	30
2.5.3.3 ช่วงอิ่มตัว (Saturation Region)	31
2.5.4 วงจรไบอัสมอสเฟต	31
2.6 วงจรภาคกำลัง	33
2.7 ออปแอมป์	34
2.7.1 วงจรขยายแบบกลับเฟส	36
2.7.2 วงจรขยายแบบไม่กลับเฟส	36
2.7.3 วงจรบัฟเฟอร์	37
บทที่ 3 การทำงานของวงจรและการออกแบบพัฒนารถเซ็นไฟฟ้า	38
3.1 บทนำ	38
3.2 ขั้นตอนกระบวนการสร้างรถเซ็นไฟฟ้า	38
3.3 ศึกษาข้อมูลที่เกี่ยวข้อง	39
3.4 การสร้างชุดควบคุมมอเตอร์	40
3.5 การสร้างวงจรชุดขับสวิตช์	43
3.6 การสร้างชุดคันเร่ง	43

3.7 วงจรควบคุมกำลังไฟฟ้า	44
3.8 วงจรแหล่งจ่ายไฟ	44
3.9 การทำงานของวงจรควบคุม	45
บทที่ 4 การทดลองและผลการทดลอง	48
4.1 ลักษณะของรถจักรยานไฟฟ้า	48
4.1.1 คุณสมบัติของรถจักรยาน	48
4.1.2 คุณสมบัติของชุดขับเคลื่อน	48
4.2 ค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ที่ได้จากการทดลองมอเตอร์ สภาวะ No-Load	48
4.3 ค่าพารามิเตอร์ต่างๆที่ได้จากการทดลองมอเตอร์สภาวะ On-Load	48
4.3.1 ค่าพารามิเตอร์ต่างๆที่ได้จากการทดลองมอเตอร์สภาวะ On-Load บนพื้นราบ	48
4.3.1.1 ค่าพารามิเตอร์ต่างๆที่ได้จากการทดลองมอเตอร์สภาวะ On-Load ที่ระยะทาง 20 เมตร	48
4.3.1.2 ค่าพารามิเตอร์ต่างๆที่ได้จากการทดลองมอเตอร์สภาวะ On-Load ที่ระยะทาง 40 เมตร	51
4.3.1.3 ค่าพารามิเตอร์ต่างๆที่ได้จากการทดลองมอเตอร์สภาวะ On-Load ที่ระยะทาง 50 เมตร	53
4.4 กราฟแสดงความสัมพันธ์ของพารามิเตอร์ต่างๆ	55
4.4.1 กราฟกราฟความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนัก(kg)และความเร็ว(m/s) แบบรถเข็นเคลื่อนที่เดินทางที่ระยะทาง 20 40 และ 50เมตร	55
4.4.2 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนัก(kg)และความเร็ว(m/s) แบบรถเข็นเคลื่อนที่ถอยหลังที่ระยะทาง 20 40 และ 50เมตร	55
4.4.3 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนัก(kg)และความเร็วรอบ(rpm) แบบรถเข็นเคลื่อนที่เดินทางที่ระยะทาง 20 40 และ 50เมตร	56
4.4.4 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนัก(kg)และความเร็วรอบ(rpm) แบบรถเข็นเคลื่อนที่ถอยหลังที่ระยะทาง 20 40 และ 50เมตร	56
4.4.5 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนัก(kg)และกระแสมอเตอร์(A) แบบรถเข็นเคลื่อนที่เดินทางที่ระยะทาง 20 40 และ 50เมตร	57
4.4.6 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนัก(kg)และกระแสมอเตอร์(A) แบบรถเข็นเคลื่อนที่ถอยหลังที่ระยะทาง 20 40 และ 50เมตร	57
4.5 ระยะทางของรถจักรยานไฟฟ้าวิ่งได้ต่อการประจุแบตเตอรี่ 1 ครั้ง	58
บทที่ 5 สรุปและวิจารณ์ผลการทดลอง	59
5.1 บทสรุป	59
5.2 สรุปผลการดำเนินโครงการ	59

5.3 ปัญหาและอุปสรรค	60
5.4 ข้อเสนอแนะ	60
เอกสารอ้างอิง	61
ภาคผนวก	62
ภาคผนวก ก บทความทางวิชาการ	63
ภาคผนวก ข ข้อมูลอุปกรณ์	68
ภาคผนวก ค Datasheet	73
ประวัติผู้เขียน	123



สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
รูปที่ 2.1 ภาพตัดขวางของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบไร้แปรงถ่านที่มีโรเตอร์ภายใน	5
รูปที่ 2.2 วงจรภายในมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบไร้แปรงถ่าน	6
รูปที่ 2.3 ตำแหน่งสวิตช์ในวงจรภาคกำลัง	7
รูปที่ 2.4 แรงดันพัลส์วิตมอดูเลชัน	9
รูปที่ 2.5 กระแสเรกูลेशन	9
รูปที่ 2.6 วงจรควบคุมแบบ 1 เฟส และ 2 เฟส	10
รูปที่ 2.7 วงจร Half-Bridge โดยแสดงการลดระดับของแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรง	11
รูปที่ 2.8 รูปคลื่นแรงดันไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้าของวงจรควบคุมแบบฟูลบริดจ์ โดยมรคาบเวลากระแสฟอร์เวิร์ดที่ Single phase load 180°	12
รูปที่ 2.9 รูปคลื่นกระแสและ EMF แบบ 2 เฟส	14
รูปที่ 2.10 รูปคลื่นสัญญาณการทำงานของไอซี MC33033	15
รูปที่ 2.11 รูปคลื่นแสดงตำแหน่งโรเตอร์ 60° และ 120° องศาไฟฟ้า	16
รูปที่ 2.12 โครงสร้างภายในและการจัดขาของไอซีเบอร์ MC33033	17
รูปที่ 2.13 ความสัมพันธ์ของค่า R_f และ C_f ในการกำหนดความถี่ PWM	18
รูปที่ 2.14 ทิศทางของกระแสที่ไหลขณะทำการชาร์จ	18
รูปที่ 2.15 วงจรที่มีความต้านทาน R_s ต่ออยู่เพื่อจำกัดกระแส	19
รูปที่ 2.16 แบตเตอรี่ลิเทียม-ไอออน	21
รูปที่ 2.17 แสดงกราฟการชาร์จแบตเตอรี่ชนิดลิเทียม-ไอออนทั้ง 3 ระยะ	23
รูปที่ 2.18 แสดงกราฟความสัมพันธ์ระหว่างความจุและจำนวน cycle life ของแบตเตอรี่ลิเทียม-ไอออน	24
รูปที่ 2.19 แสดงกราฟความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณการใช้งานและจำนวน cycle life ของแบตเตอรี่ลิเทียม-ไอออน	25
รูปที่ 2.20 แสดงหลักการทำงานของแบตเตอรี่ลิเทียม-ไอออนขณะอัดประจุ	26
รูปที่ 2.21 โครงสร้างของมอเตอร์แบบเอ็นฮานซ์मेंท์ชนิดเอ็น	27
รูปที่ 2.22 สัญลักษณ์ของมอเตอร์แบบเอ็นฮานซ์मेंท์ชนิดเอ็น	28
รูปที่ 2.23 อุปกรณ์มอเตอร์	28
รูปที่ 2.24 การสร้างช่องทางเดินกระแสให้กับมอเตอร์แบบเอ็นฮานซ์मेंท์ชนิดเอ็น	29

รูปที่	หน้า
รูปที่ 2.25 การกำหนดจุดการทำงานให้มอสเฟต เมื่อ $V_{GS} > V_T$ และ V_{DS} มีค่าน้อย	29
รูปที่ 2.26 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างกระแสเดรนกับแรงดัน V_{DS} ที่มีค่าน้อย	29
รูปที่ 2.27 การกำหนดจุดการทำงานให้มอสเฟตเมื่อ $V_{GS} > V_T$ และปรับค่า V_{DS} มีค่ามากกว่า $V_{GS} - V_T$	30
รูปที่ 2.28 คุณสมบัติกระแส-แรงดัน(I-V Characteristic) ของมอสเฟตชนิด NMOS	31
รูปที่ 2.29 (ก)วงจรเทียบเคียงการไบอัสแรงดันดีซีและการป้อนสัญญาณอินพุต (ข)กราฟคุณลักษณะทางดีซี	32
รูปที่ 2.30 วงจรไบอัสมอสเฟต (ก) ไบอัสด้วย V_{GG} (ข) ไบอัสด้วย V_{DD}	32
รูปที่ 2.31 วงจรไบอัสมอสเฟต (ก) ไบอัสด้วย V_{GG} และ (ข) ไบอัสด้วย V_{DD}	33
รูปที่ 2.32 วงจรภาคกำลัง	34
รูปที่ 2.33 แสดงสัญลักษณ์ออปแอมป์	35
รูปที่ 2.34 วงจรขยายออปแอมป์แบบกลับเฟส (Inverting Amplifier)	36
รูปที่ 2.35 วงจรขยายออปแอมป์แบบไม่กลับเฟส (Non-Inverting Amplifier)	36
รูปที่ 2.36 วงจรบัฟเฟอร์	37
รูปที่ 3.1 แผนผังแสดงการทำงาน	40
รูปที่ 3.2 ผังแสดงชุดควบคุมมอเตอร์	40
รูปที่ 3.3 มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบไม่ใช้แปรงถ่าน (Brushless DC Motor)	41
รูปที่ 3.4 กราฟแสดงความสัมพันธ์ในการเลือกค่า R และ C	41
รูปที่ 3.5 วงจรสัญญาณควบคุมโตนใช้ไอซีหมายเลข MC3303	42
รูปที่ 3.6 วงจรควบคุมรถเข็นไฟฟ้า	42
รูปที่ 3.7 วงจรชุดขับสวิตช์	43
รูปที่ 3.8 คันเร่งรถเข็นไฟฟ้า	43
รูปที่ 3.9 วงจรภาคกำลัง	44
รูปที่ 3.10 วงจรแหล่งจ่ายไฟ	44
รูปที่ 3.11 การต่อวงจรบริดจ์สามเฟสกับมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบไร้แปรงถ่าน	46
รูปที่ 3.12 การทำงานของวงจรบริดจ์สามเฟส	47
รูปที่ 4.1 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนัก(kg)และความเร็ว(m/s)แบบรถเข็นเคลื่อนที่เดินทางที่ระยะทาง 20 40 และ 50เมตร	55

รูปที่ 4.2 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนัก(kg)และความเร็ว(m/s)แบบรถ เข็นเคลื่อนที่ถอยหลังที่ระยะทาง 20 40 และ 50เมตร	55
รูปที่ 4.3 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนัก(kg)และความเร็วรอบ(rpm) แบบรถเข็นเคลื่อนที่เดินหน้าที่ระยะทาง 20 40 และ 50เมตร	56
รูปที่ 4.4 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนัก(kg)และความเร็วรอบ(rpm) แบบรถเข็นเคลื่อนที่ถอยหลังที่ระยะทาง 20 40 และ 50เมตร	56
รูปที่ 4.5 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนัก(kg)และกระแสมอเตอร์(A) แบบรถเข็นเคลื่อนที่เดินหน้าที่ระยะทาง 20 40 และ 50เมตร	57
รูปที่ 4.6 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนัก(kg)และกระแสมอเตอร์(A) แบบรถเข็นเคลื่อนที่ถอยหลังที่ระยะทาง 20 40 และ 50เมตร	57



สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
1.1 ตารางระยะเวลาการวางแผนในการทำโครงการ	2
2.1 การถอดรหัส Encoder ของมอเตอร์และการทำงานของมอเตอร์	7
2.2 การทำงานของวงจรฟูลบริดจ์	11
2.3 ค่า I_{peak} I_{mean} และ I_{RMS} ของวงจร Single Phase Full-Bridge ที่อุณหภูมิที่ไม่เท่ากันและซับบาง Square Wave	13
2.4 ค่า I_{peak} I_{mean} และ I_{RMS} ของวงจร Single Phase Full-Bridge ที่อุณหภูมิที่เท่ากันและซับบาง Square Wave	13
2.5 ตารางเปรียบเทียบแบตเตอรี่	20
2.6 ตารางแสดง Cycle life ของแบตเตอรี่	22
2.7 ตารางการสูญเสียความจุถาวรของเซลล์ลิเทียมตามฟังก์ชันของอุณหภูมิและระดับการชาร์จ	22
3.1 ตารางเปรียบเทียบคุณสมบัติระหว่างมอเตอร์กระแสตรงแบบมีแปรงถ่านกับมอเตอร์กระแสตรงแบบไร้แปรงถ่าน	39
3.2 ตารางแสดงการทำงานของฮอลล์เซ็นเซอร์ที่ตำแหน่งทางไฟฟ้าต่างๆ	45
4.1 ผลการทดสอบขับเคลื่อนรถขึ้นไฟฟ้าที่สภาพ No-Load	48
4.2 ผลการทดสอบขับเคลื่อนรถขึ้นไฟฟ้าแบบเดินหน้า โดยการออกตัวจากจุดหยุดนิ่งที่ระยะทาง 20 เมตร	49
4.3 ผลการทดสอบขับเคลื่อนรถขึ้นไฟฟ้าแบบถอยหลัง โดยการออกตัวจากจุดหยุดนิ่งที่ระยะทาง 20 เมตร	50
4.4 ผลการทดสอบขับเคลื่อนรถขึ้นไฟฟ้าแบบเดินหน้า โดยการออกตัวจากจุดหยุดนิ่งที่ระยะทาง 40 เมตร	51
4.5 ผลการทดสอบขับเคลื่อนรถขึ้นไฟฟ้าแบบถอยหลัง โดยการออกตัวจากจุดหยุดนิ่งที่ระยะทาง 40 เมตร	52
4.6 การทดสอบขับเคลื่อนรถขึ้นไฟฟ้าแบบเดินหน้า โดยการออกตัวจากจุดหยุดนิ่ง ที่ระยะทาง 50 เมตร	53
4.7 การทดสอบขับเคลื่อนรถขึ้นไฟฟ้าแบบถอยหลัง โดยการออกตัวจากจุดหยุดนิ่ง ที่ระยะทาง 50 เมตร	54

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ในปัจจุบันอัตราการเพิ่มของประชากรในประเทศไทยมีแนวโน้มลดลง แต่จำนวนผู้สูงอายุของประเทศไทยกลับมีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้น สาเหตุเนื่องจากปัจจุบันการคุมกำเนิดมีได้โดยหลายวิธีจึงทำให้อัตราการเพิ่มของประชากรลดน้อยลงและปัจจุบันเทคโนโลยีทางการแพทย์ได้มีการพัฒนาที่ก้าวหน้าแต่ก่อนเป็นอย่างมาก จึงทำให้จำนวนผู้สูงอายุมีจำนวนเพิ่มขึ้นและมีแนวโน้มที่จะพัฒนาดีขึ้นเรื่อยๆ ผลให้อายุขัยของประชากรเพิ่มขึ้นและจะทำให้มีจำนวนผู้สูงอายุมากขึ้น เห็นได้ว่าเทคโนโลยีเพื่ออำนวยความสะดวกช่วยเหลือผู้สูงอายุจึงเป็นสิ่งสำคัญอย่างมากและเป็นที่ต้องการสูงขึ้น

ผู้สูงอายุส่วนใหญ่จะพบเจอกับปัญหาต่างๆหนึ่งในปัญหาที่ผู้วิจัยได้เห็น คือ ปัญหาในการใช้ชีวิต การเคลื่อนที่ของผู้สูงอายุ โดยปกติผู้สูงอายุที่มีปัญหาในการเคลื่อนที่จำเป็นต้องใช้รถเข็น ผู้วิจัยจึงได้เกิดความคิดที่จะพัฒนาและเพิ่มสิ่งอำนวยความสะดวกให้รถเข็นเพื่อเพิ่มความสะดวกสบายให้แก่ผู้สูงอายุ โดยการทำรถเข็นธรรมดาให้เป็นรถเข็นไฟฟ้าและเป็นรถเข็นไฟฟ้าที่มีสมรรถภาพดีกว่ากว่ารถเข็นไฟฟ้าทั่วไปในท้องตลาดและจากที่กล่าวมาข้างต้นจึงเป็นเป็นเหตุผลให้ผู้วิจัยได้เกิดความคิดที่จะพัฒนารถเข็นไฟฟ้าเพื่อตอบสนองความต้องการของผู้ใช้งานที่เพิ่มขึ้นและต้องการรถเข็นที่มีคุณภาพรวมทั้งสมรรถภาพมากขึ้นจากที่มีอยู่ทั่วไป

1.2 วัตถุประสงค์

1. เพื่อช่วยเหลือและอำนวยความสะดวกให้แก่ผู้สูงอายุ และผู้ป่วยที่จำเป็นต้องใช้รถเข็น
2. เพิ่มสมรรถภาพให้สูงกว่ารถเข็นไฟฟ้าทั่วไป

1.3 ขอบเขตการดำเนินการ

ขอบเขตในการศึกษาปริญญาโทฉบับนี้ คือ การนำรถเข็นไฟฟ้าที่มีอยู่ทั่วไปมาเพิ่มระบบขับเคลื่อนด้วยมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบไร้แปรงถ่านขนาด 24 V 250 W จำนวน 1 ตัว และแบตเตอรี่เป็นแหล่งจ่ายพลังงานไฟฟ้าให้กับมอเตอร์ไฟฟ้าขนาด 24V 30Ah จำนวน 1 ตัว สามารถปรับความเร็วและควบคุมทิศทางด้วยมือโดยมีการเพิ่มระบบเบรกไฟฟ้าเพื่อช่วยในการหยุดการเคลื่อนที่ของรถเข็นและมีระบบขับเคลื่อนถอยหลังเพื่อช่วยในการเคลื่อนตัวที่สะดวกและมีประสิทธิภาพมากขึ้น

1.4 วิธีการที่ใช้ในการทำโครงการ

1. ศึกษาและออกแบบวงจรควบคุม เพื่อควบคุมมอเตอร์ไฟฟ้าที่ใช้ควบคุมรถเข็น
2. ออกแบบวงจรแบตเตอรี่

3. หาอุปกรณ์และชิ้นส่วนต่างๆเพื่อนำมาให้ในโครงการวิจัย
4. ออกแบบโครงสร้างรถเข็นไฟฟ้า ที่เรียบง่ายและง่ายต่อการซ่อมบำรุง
5. ทำการทดลองและตรวจสอบการใช้งานจริง
6. บันทึกผลการทดลอง
7. แก้ไขหากพบข้อผิดพลาด หรือชำรุด

1.5 ตารางการดำเนินโครงการ

ตารางที่ 1.1 ตารางระยะเวลาการวางแผนในการทำโครงการ

ขั้นตอน	ภาคเรียนที่1				ภาคเรียนที่2				
	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.	ม.ย.	พ.ค.
1.ศึกษาโครงการรถเข็นไฟฟ้า การออกแบบวงจรที่ทำการปรับปรุงและพัฒนา	↔								
2.ศึกษาการใช้โปรแกรมจำลองการทำงานทางคอมพิวเตอร์	↔	↔							
3.ศึกษาการทำงานของมอเตอร์กระแสตรงแบบไร้แปรงถ่าน		↔	↔						
4.ศึกษาการออกแบบวงจรควบคุมมอเตอร์กระแสตรงแบบไร้แปรงถ่าน			↔	↔					
5.จัดเตรียมวัสดุอุปกรณ์สำหรับสร้างวงจรและชิ้นงาน			↔	↔					
6.ออกแบบและสร้างวงจรควบคุมการทำงานของวงจรขับเคลื่อนมอเตอร์และวงจรควบคุมทิศทางของรถเข็นไฟฟ้า			↔	↔					
7.สร้างวงจรควบคุมมอเตอร์กระแสตรงแบบไร้แปรงถ่านใช้งานจริง					↔	↔			
8.ทดสอบวงจรควบคุมมอเตอร์กระแสตรงแบบไร้แปรงถ่าน					↔	↔			
9.เชื่อมต่อวงจรขับเคลื่อนเข้ากับมอเตอร์และทดสอบการทำงาน						↔	↔		

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2

ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.1 บทนำ

ในบทนี้จะเป็นการอธิบายหลักการและทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับการทำปริญญานิพนธ์เล่มนี้ ซึ่งเนื้อหาจะประกอบไปด้วย 5 ส่วนหลัก คือ 1.ทฤษฎีและหลักการทำงานมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบไร้แปรงถ่าน 2.ไอซีเบอร์ MC33033 3.ทฤษฎีและหลักการทำงานของ Battery 4.ทฤษฎีมอเตอร์สเฟตและการขับมอเตอร์ 5.วงจรกำลัง และ 6.วงจรอุปแอมป์

2.2 มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบไร้แปรงถ่าน (Brushless DC Motor)

2.2.1 ความหมายและรูปแบบของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบไร้แปรงถ่าน

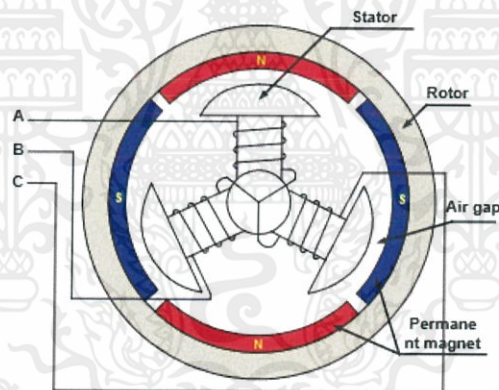
มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบไร้แปรงถ่านมีลักษณะตามชื่อคือเป็นมอเตอร์ที่ไร้แปรงถ่าน สลิปริง และคอมมิวเตเตอร์ ซึ่งสิ่งเหล่านั้นเป็นสิ่งจำเป็นสำหรับมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงหรือมอเตอร์ซิงโครนัสเพื่อทำหน้าที่ในการจ่ายแรงดันให้กับขดลวดอาร์เมเจอร์ที่พันอยู่บนโรเตอร์

มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบไร้แปรงถ่านมีส่วนประกอบที่สำคัญคือส่วนหมุนที่เป็นแม่เหล็กถาวรและส่วนอยู่กับที่เป็นขดลวดอาร์เมเจอร์ ถ้าย้อนกลับไปพิจารณาถึงมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบมีแปรงถ่านในการทำงานแม่เหล็กถาวรจะอยู่กับที่ในขณะที่ขดลวดอาร์เมเจอร์เป็นส่วนหมุน มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงทั้ง 2 ชนิดกระแสไฟฟ้าจะไหลผ่านตัวนำกลับไปกลับมาเพื่อสร้างขั้วแม่เหล็กขึ้นในทำนองเดียวกันเพื่อให้แน่ใจว่าแรงบิดที่เกิดขึ้นนั้นมีทิศทางไปในทางเดียวกันให้สังเกตมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบมีแปรงถ่านการกลับขั้วถูกจัดการโดยแปรงถ่านและคอมมิวเตเตอร์ ส่วนมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบไร้แปรงถ่านการกลับขั้วถูกจัดการโดยทรานซิสเตอร์กำลังซึ่งต้องถูกสวิตช์ไปตามลำดับตำแหน่งการหมุนของโรเตอร์เช่นเดียวกันซึ่งการตรวจสอบตำแหน่งการหมุนของโรเตอร์จะใช้ตัวถอดรหัส(Encoder)แทนการใช้คอมมิวเตเตอร์กับการแปรงถ่าน ขบวนการติดต่อทางไฟฟ้าของมอเตอร์ทั้งสองชนิดเหมือนกันเป็นสาเหตุให้เกิดสมการและคุณสมบัติระหว่างความเร็วรอบและแรงบิดเกือบจะเหมือนกันทุกประการ

เมื่อกระแสไหลในมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบไร้แปรงถ่านสวิตช์กลับขั้วทำให้เกิดขั้วแม่เหล็กตามลำดับมอเตอร์จะทำงานในลักษณะการกระตุ้นแบบรูปคลื่นสี่เหลี่ยม Square Wave และแรงเคลื่อนไฟฟ้าเหนี่ยวนำต้านกลับ(Back-EMF)กรณีนี้จะถูกสร้างขึ้นให้เป็นรูปสี่เหลี่ยมในรูปคลื่นสี่เหลี่ยมของแรงเคลื่อนไฟฟ้าจะถูกใช้ในการอ้างอิงถึงมอเตอร์และชุดควบคุมอย่างไรก็ตามยังมีโหมดการทำงานแบบอื่นซึ่งกระแสไฟจะถูกสร้างขึ้นเป็นรูปคลื่นไซน์ Sine Wave และเป็นเหตุทำให้แรงเคลื่อนไฟฟ้าทางอุดมคติเป็นรูปคลื่นไซน์ด้วยรูปร่างของมอเตอร์และชุดควบคุมจะเหมือนกับมอเตอร์ที่ขับด้วยคลื่นสี่เหลี่ยมแต่

ทั้งสองชนิดมีความแตกต่างกันที่สำคัญคือมอเตอร์ที่ขับแบบรูปคลื่นไซน์ในการหมุนจะมีการกระจายอัตราส่วนกระแสต่อตัวนำที่ดีกว่าเหมือนกับสนามแม่เหล็กหมุนในอินดักชันมอเตอร์หรือมอเตอร์ไฟฟ้าแบบซิงโครนัส มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบไร้แปรงถ่านแบบนี้คือซิงโครนัสมอเตอร์ที่แท้จริงจากการกระตุ้นที่คงที่จากแม่เหล็กถาวรเหมือนกับซิงโครนัสมอเตอร์มากกว่ามอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงทั่วไปและเป็นสาเหตุที่ทำให้เรียกว่า มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับแบบไร้แปรงถ่านมอเตอร์กระแสตรงแบบไร้แปรงถ่านที่ใช้แม่เหล็กถาวรส่วนใหญ่จะผลิตขึ้นในประเทศญี่ปุ่นและยุโรปแต่จะกล่าวถึงมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับแบบเซอร์โว(AC Servo Motor)มากกว่ามอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบไร้แปรงถ่านอุตสาหกรรมในอเมริกากล่าวถึงเครื่องกลกระแสสลับ AC Machine นั้นหมายถึงมอเตอร์ซึ่งจะเริ่มสตาร์ทและทำงานจากแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับ

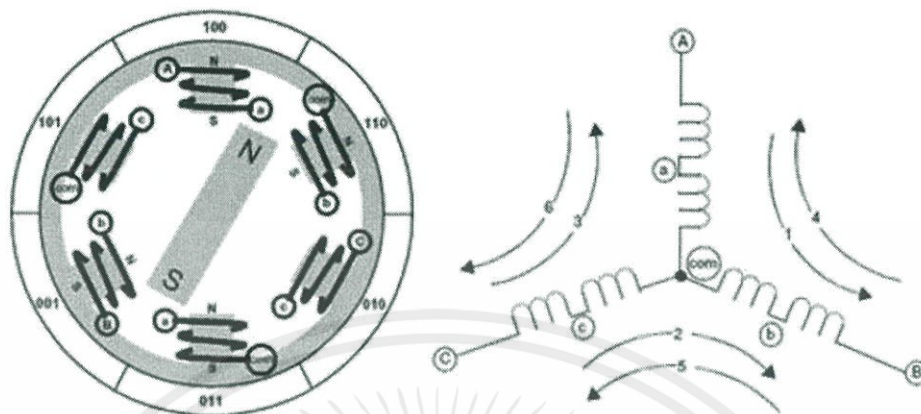
รูปที่ 2.1 เป็นภาพตัดขวางของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบไร้แปรงถ่านแบบที่มีส่วนหมุนอยู่ในแม่เหล็กถาวรจะอยู่บนโรเตอร์ซึ่งทำให้ไม่จำเป็นต้องใช้แปรงถ่านกับซีคอมมิวเตเตอร์อีกเนื่องจากขดลวดอยู่บนสเตเตอร์เป็นส่วนที่อยู่กับการทำให้โรเตอร์มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเล็กลงจะช่วยลดความเฉื่อยลงได้มาก



รูปที่ 2.1 ภาพตัดขวางของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบไร้แปรงถ่านที่มีโรเตอร์ภายใน

2.2.2 หลักการทำงานของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบไร้แปรงถ่าน

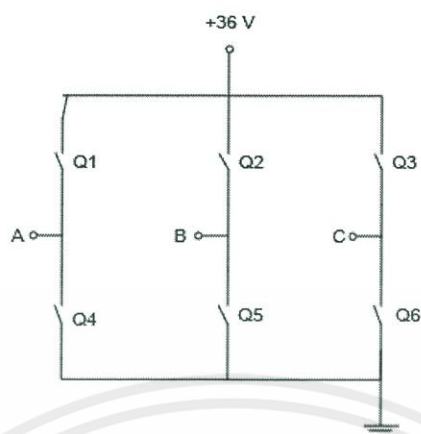
การทำงานของมอเตอร์กระแสตรงแบบไร้แปรงถ่านจะแตกต่างกับการทำงานของมอเตอร์แบบมีแปรงถ่านจะทำงานง่าย ๆ คือมีแปรงถ่านเป็นตัวคอยสับเปลี่ยนการจ่ายกระแสไฟฟ้าให้กับขดลวดเพื่อสร้างสนามแม่เหล็กที่เหมาะสมซึ่งมอเตอร์ชนิดนี้จึงสายเพียง 2 เส้นเท่านั้นแต่ในมอเตอร์กระแสตรงแบบไร้แปรงถ่านจะมีขดลวดอยู่ 3 ชุดและจะทำงานครั้งละ 2 ชุดสับเปลี่ยนกันเพื่อสร้างสนามแม่เหล็กที่เหมาะสมจะเห็นได้ว่ามอเตอร์กระแสตรงแบบไร้แปรงถ่านจะมีสายจำนวน 3 เส้นต่อออกมาตามรูปที่ 2.2 คือ ขั้ว A, B และ C



รูปที่ 2.2 วงจรภายในมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบไร้แปรงถ่าน

จากรูปที่ 2.2 จะมีกระแสไฟฟ้าไหลผ่านขดลวดจาก A ไป B ตามเส้นทางที่ 1 ทำให้เกิดสนามแม่เหล็กสำหรับดึงดูดแกนหมุนให้อยู่ระหว่างขั้วของ A และ B หรือมอเตอร์จะวางตัวอยู่ตามรูปทางด้านซ้ายมือและหากให้กระแสไฟฟ้าไหลตามเส้นทางที่ 6 คือ จากขั้ว A ไปยังขั้ว C จะทำให้เกิดสนามแม่เหล็กระหว่างขั้ว A และ C จะทำให้ตัวหมุนเคลื่อนไปทิศทางทวนเข็มนาฬิกาไปอยู่ระหว่างขั้ว C และ A แทนหรือขั้ว N ประมาณเลข 11 บนหน้าปัดนาฬิกาและหากเปลี่ยนกระแสให้ไหลในเส้นทางที่ 5 คือ จาก B ไปยัง C ต่ไปอีกตัวหมุนจะหมุนทวนเข็มนาฬิกาต่อไปอีกขั้ว N จะอยู่ที่ระหว่าง B และ C หรือที่ประมาณ 9 นาฬิกาดังนั้นหากให้เกิดการหมุนต่อเนื่องจะต้องทำการสับขั้วให้กระแสไฟฟ้าไหลในจังหวะที่เหมาะสมตามลำดับไปคู่ได้จากรูปทางด้านขวามือและเมื่อกระทำต่อเนื่องไปจนครบ 6 ชั้นจะเกิดการหมุน 1 รอบพอดีในระหว่างขั้นต่างๆนี้ขั้ว A, B และ C จะถูกสับเปลี่ยนไปมาระหว่างบวกและลบทำให้ตัวควบคุมจะต้องใช้ทรานซิสเตอร์ต่อกันเป็นบริดจ์อย่างน้อย 6 ตัว เพื่อให้สามารถสับเปลี่ยนขั้วได้

จากการทำงานขั้นต้นจะเห็นว่า การสับเปลี่ยนขั้วมีความสัมพันธ์กับตำแหน่งของตัวหมุนเป็นอย่างมาก การสับเปลี่ยนขั้วเพื่อให้เกิดสนามแม่เหล็กที่เหมาะสมจะทำให้ได้แรงบิดที่ดีโดยแรงบิดจะเกิดขึ้นสูงสุดเมื่อตัวหมุนทำมุมกับสนามแม่เหล็ก 90 องศา ดังนั้นในการควบคุมมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบไร้แปรงถ่านควรมีการควบคุมมอเตอร์โดยจะต้องมีตัวที่ของตำแหน่งของมอเตอร์ทำให้มีการใช้เซนเซอร์ช่วยบอกตำแหน่งเช่น ฮอลล์เซนเซอร์ (Hall Sensor) จะใช้จำนวน 3 ตัวเพื่อใช้สัญญาณออกมามีข้อดีคือตัวควบคุมทำงานง่ายแต่มีข้อยุ่งยากก็คือต้องใช้ Sensor เพิ่มและการบำรุงรักษาเพิ่มขึ้น



รูปที่ 2.3 ตำแหน่งสวิตช์ในวงจรภาคกำลัง

ตารางที่ 2.1 แสดงการถอดรหัส Encoder ของมอเตอร์และการทำงานของมอสเฟต

Enc	Top	Bottom	TLP	ภาคกำลังชุดบน			ภาคกำลังชุดล่าง		
				Q ₁	Q ₂	Q ₃	Q ₄	Q ₅	Q ₆
100	011	001	100	ทำงาน	-	-	-	-	ทำงาน
110	101	001	010	-	ทำงาน	-	-	-	ทำงาน
111	101	100	010	-	ทำงาน	-	ทำงาน	-	-
011	110	100	011	-	-	ทำงาน	ทำงาน	-	-
001	110	010	011	-	-	ทำงาน	-	ทำงาน	-
000	011	010	100	ทำงาน	-	-	-	ทำงาน	-

2.2.3 ทฤษฎีการควบคุมมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบไร้แปรงถ่าน

1) หลักการควบคุมพื้นฐานจากที่กล่าวมามอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบไร้แปรงถ่านต้องการลำดับเฟสของกระแสซึ่งอาจจะเป็นแบบรูปคลื่นไซน์ (Sine Waves Drive) หรือแบบรูปคลื่นสี่เหลี่ยม (Square Waves Drive) ก็ได้ขึ้นกับการออกแบบในทั้ง 2 กรณีอุปกรณ์กำลังที่ใช้ในการควบคุมจะมีลักษณะเหมือนกันตามที่แสดงให้เห็นในรูปที่ 2.3 แตกต่างกันเพียงวิธีการควบคุมการสวิตช์ของทรานซิสเตอร์กำลังโดยหลักการจะพยายามควบคุมแรงบิดและความเร็วรอบให้มีความแม่นยำและเรียบ ในขณะที่เดียวกันจะต้องจำกัดกระแสไฟฟ้าอยู่ภายในค่าที่ปลอดภัยมอเตอร์ไม่มีแม่เหล็กถาวรคือ เครื่องกลไฟฟ้าแบบกระแสเฟสเป็นรูปไซน์การกระจายของกระแสไฟฟ้าเฟสในตัวนำ (Ampere-Conductor

Distribution) จะเป็นไปอย่างต่อเนื่องที่ความเร็วเชิงโคจรันการทำให้กระแสไฟฟ้าเฟสไหลเข้าไปในขดลวด ในลักษณะรูปคลื่นไซน์การสวิตช์ของทรานซิสเตอร์เรียกว่า พัลส์วิดมอดูเลชัน (PWM)

ในกรณีที่เป็นสี่เหลี่ยมในการหมุนการกระจายกระแสไฟฟ้าต่อตัวนำจะไม่เรียบแต่ยังคงค่าตำแหน่งคงที่ไว้ที่ 60° องศาไฟฟ้าและการเปลี่ยนแปลงอย่างทันทีทันใดที่อีก 60° องศาไฟฟ้าต่อไป ข้างหน้าการเปลี่ยนแปลงสัญญาณพัลส์คือผลของการคอมมิวสแตชันและการเปลี่ยนแปลงของกระแสไฟฟ้าระหว่างเฟสภายใต้การควบคุมการสวิตช์ของทรานซิสเตอร์กำลังในแต่ละช่วง 60° ค่าแรงบิดยังคงมีค่าคงที่ถ้ากระแสไฟฟ้าและแรงเคลื่อนไฟฟ้าเหนี่ยวนำต้านกลับให้เป็นรูปสี่เหลี่ยมและพยายามรักษาระดับกระแสไฟฟ้าให้คงที่ในระหว่างทุกๆช่วง 60° โดยปกติแล้วจะทำได้จากการใช้พัลส์วิดมอดูเลชันหรือการชอปเปอร์(Chopper)

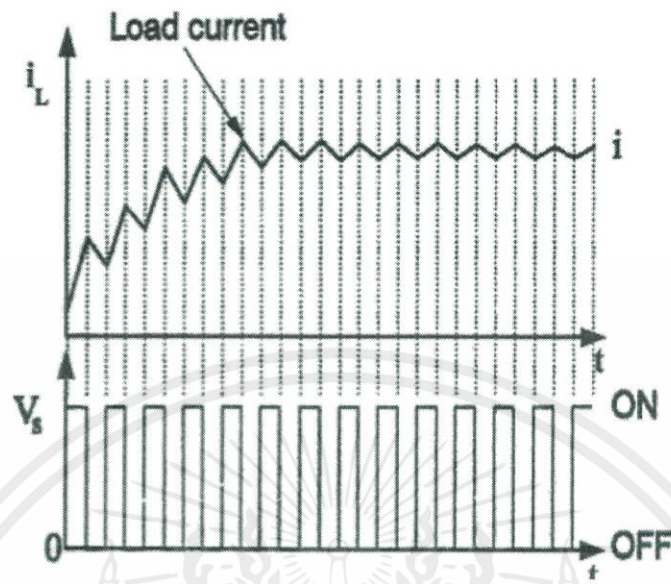
จากที่ได้กล่าวมาแล้วข้างต้นคงทราบว่อุปกรณ์กำลังที่ใช้ในการควบคุมมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบไร้แปรงถ่านจะถูกใช้งานในโหมดของการสวิตช์ซึ่งหมายความว่าการทำงานของอุปกรณ์กำลัง(ทรานซิสเตอร์และไดโอด)จะถูกทำงานในลักษณะสวิตช์ไม่เปิดก็ปิดตลอดเวลาซึ่งสามารถควบคุมโดยการควบคุมอัตราส่วนของเวลาหรือการควบคุมดิวตีไซเคิล หลักการของการควบคุมแบบดิวตีไซเคิลคือต้องทำการสวิตช์ทรานซิสเตอร์กำลังที่ความถี่สูงแล้วควบคุมค่ากระแสไฟฟ้าเฉลี่ยโดยใช้ความสัมพันธ์ช่วงเวลาเปิดและปิด

2)แรงดันพัลส์วิดมอดูเลชันและกระแสเรกูเลชัน การมอดูเลตแรงดันพัลส์วิดมอดูเรชันที่แสดงในรูปที่ 2.4 และ 2.5 ทรานซิสเตอร์กำลังจะถูกสวิตช์เปิดหรือปิดโดยปกติจะทำการสวิตช์ที่ความถี่คงที่ f_s ค่าเวลาจะหาได้จาก $T = \frac{1}{f_s}$ แรงดันที่ตกคร่อมโหลดคือ V_s จะได้จากช่วงเวลาทีทรานซิสเตอร์กำลังนำกระแส t_{on} ส่วนในช่วงเวลาที่ทรานซิสเตอร์กำลังหยุดนำกระแส t_{off} แรงดันไฟฟ้าที่ตกคร่อมโหลดจะเป็นศูนย์หรือไม่ก็ $-V_s$ ในกรณีที่เป็นศูนย์การชอปเปอร์ของแรงดันจะเรียกว่าการชอปเปอร์แบบฮาร์ดในการชอปเปอร์แบบซอฟต์ต้องการรูปแรงดันไฟฟ้าเป็นศูนย์ในขณะที่โหลดถูกลัดวงจร โดยปกติจะลัดวงจรผ่านทรานซิสเตอร์กำลังหนึ่งตัวและไดโอดกำลังหนึ่งตัวแต่ในกรณีที่เป็นชอปเปอร์แบบฮาร์ดจะต้องการแรงดันไฟฟ้าตกคร่อมโหลดในลักษณะกลับขั้วปกติจะไหลผ่าน Free Wheeling ไดโอด 2 ตัว โดยที่ค่าดิวตีไซเคิลสามารถหาได้จากสมการที่ (2.1)

$$D = \frac{t_{on}}{t_{off}} = \frac{t_{on}}{t_{on}+t_{off}} \quad (2.1)$$

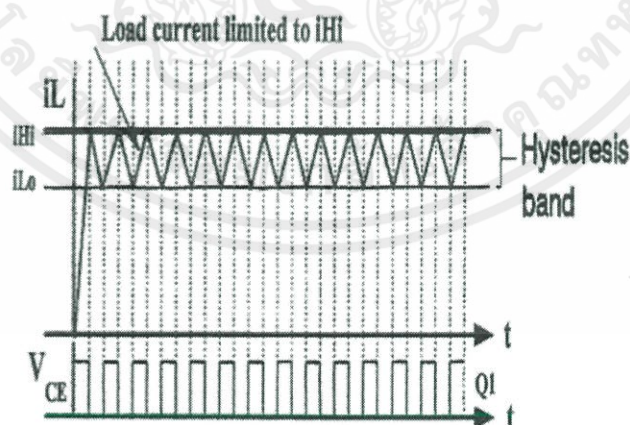
ถ้าแหล่งจ่ายคงที่ค่าดิวตีไซเคิลคงที่ด้วยแรงดันไฟฟ้าที่ตกคร่อมโหลดจะหาได้จากสมการที่ (2.2)

$$V_{load} = D \cdot V_s \quad (2.2)$$



รูปที่ 2.4 แรงดันพัลส์วิตมอดูเลชัน

ตัวใช้เคิลสามารถปรับค่าได้ ถ้ามอเตอร์มีความถี่ที่ f_1 ทรานซิสเตอร์กำลังที่ใช้ในการชอปเปอร์จะต้องการความถี่ในการสวิตซ์ f_s ที่สูงกว่า โดยทั่วไปแล้วจะสูงกว่าประมาณ 10 เท่าจะทำให้ค่าอินดักแตนซ์ในโพลลดค่ารีปเปิ้ลที่เกิดจากความถี่สวิตซ์ของกระแสไฟฟ้าโพลลง ตัวอย่างถ้าความถี่ของมอเตอร์ 1000 เฮิร์ต ความถี่ในการสวิตซ์ควรเลือกใช้ไม่ต่ำกว่า 10 กิโลเฮิร์ตแต่นั้นเป็นระดับมอเตอร์ที่มีกำลังไฟฟ้าต่ำๆถ้าเป็นไปได้ควรจะใช้ความถี่ในการสวิตซ์ระดับนี้จะทำให้มอเตอร์ไม่มีเสียงคราง

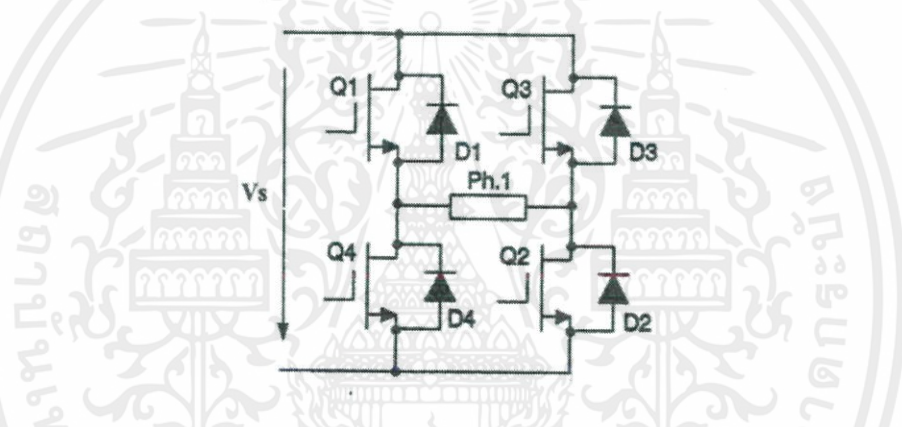


รูปที่ 2.5 กระแสเรกูเลชัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 2.5 เป็นการบังคับกระแสซึ่งสามารถทำได้โดยการตรวจจับกระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่าน และควรมีค่าแบนด์วิดท์เพียงพอตามการเปลี่ยนแปลงของกระแสไฟฟ้าอย่างรวดเร็วสัญญาณกระแสไฟฟ้าที่ป้อนกลับจะถูกเปรียบเทียบกับค่ากระแสไฟฟ้าที่ติดตั้งไว้ i_{Hi} ทรานซิสเตอร์กำลังจำทำการสวิตช์ให้หยุดนำกระแสไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้าที่ตรวจจับได้ลดลงแรงเคลื่อนไฟฟ้าเหนี่ยวนำด้านกลับของมอเตอร์จะตกคร่อมในค่าความต้านทานของตัวมอเตอร์เมื่อกระแสไฟฟาลดลงจนมีค่าต่ำกว่าระดับกระแสอ้างอิง i_{Lo} การขับทรานซิสเตอร์กำลังจะทำการสวิตช์ปิดวงจรอีกครั้งจะเห็นว่ากระแสไฟฟ้าจะเกิดย่านฮิสเตอร์รีซิส ($i_{Hi} - i_{Lo}$) ซึ่งความถี่และแอมพลิจูดของริบเบิลนั้นจะขึ้นอยู่กับค่าอินดักแตนซ์ของโหลดแรงดันไฟฟ้าที่ใช้ในวงจรและค่าแบนด์วิดท์ของวงจรการบังคับกระแสไฟฟ้า

2.2.4 การควบคุมแบบฟูลบริดจ์ (Full-Bridge) ของเฟส 1 และ 2 เฟส

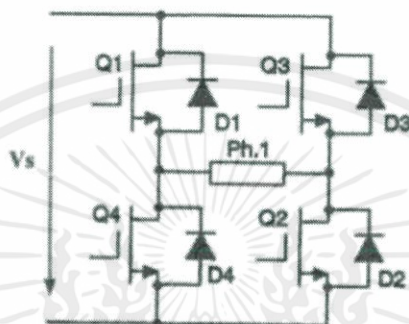


รูปที่ 2.6 วงจรควบคุมแบบ 1 เฟส และ 2 เฟส

รูปที่ 2.6 แสดงวงจรฟูลบริดจ์ที่ใช้กับโหลดแบบ 1 เฟส (Single-Phase) สำหรับมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบไร้แปรงถ่าน 1 เฟสซึ่งการสั่งการทำงานของวงจรได้สรุปไว้ในตาราง 2.1 เมื่อ Q_1 และ Q_2 ทำงานจะมีแรงดันไฟฟ้าตกคร่อมโหลดเท่ากับ V_s เมื่อ Q_3 และ Q_4 ทำงานจะมีแรงดันไฟฟ้าตกคร่อมโหลดเท่ากับ $-V_s$ เปรียบเทียบกับวงจร Half-Bridge จากรูปที่ 2.7 ซึ่งเหมาะที่จะใช้กับโหลดที่ต้องการแรงดันไฟฟ้าเป็น 2 เท่าถึงแม้ว่าจะใช้แหล่งจ่ายแรงดันไฟฟ้าเดียวกันแต่กำลังไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้ามอเตอร์ที่ได้จะมีเพียงครึ่งเดียวเท่านั้น

จากตารางที่ 2.2 สีแถวแรกแสดงการควบคุมทรานซิสเตอร์ Q_1 และ Q_2 ทางด้านบวกหรือกระแส Free wheel D_4 เมื่อ Q_1 หยุดนำกระแสและกระแสไฟฟ้าจะไหลผ่านไดโอด Freewheel D_3 เมื่อ D_2 หยุดนำกระแสซึ่งจะมีเพียงไดโอด 1 ตัวและทรานซิสเตอร์ 1 ตัวที่ทำงานทำให้แรงดันตกคร่อมโหลดลดลงจนเป็นศูนย์และกระแส Free Wheeling ที่โหลดจะค่อยๆ ลดลงภายใต้เงื่อนไขของ

แรงเคลื่อนไฟฟ้าต้านกลับมอเตอร์และแรงดันไฟฟ้าที่ตกคร่อมตัวต้านทานในวงจรลูปนี้จะเป็นวิธีของการทำให้เกิดการเปลี่ยนกระแสไหลกลับเล็กน้อยเพื่อให้เกิดการเปลี่ยนแปลงความถี่หรือเป็นทางเลือกที่ต้องการเปลี่ยนแปลงความถี่ เพื่อที่จะทำให้กระแสไหลอยู่ในระดับหนึ่งเมื่อทรานซิสเตอร์ทั้งสองหยุดนำกระแส ไฟฟ้าจะไหลผ่าน D_3 และ D_4 ทำให้เกิดแรงดันไฟฟ้าตกคร่อมโหลดมีค่าเป็นค่าแรงดันโพลบในเวลาต่อมาสำหรับกระแสไฟฟ้าทางด้านฟอร์เวิร์ดทรานซิสเตอร์ Q_3 และ Q_4 ทำงาน ไดโอด D_1 และ D_2 ไม่ทำงาน

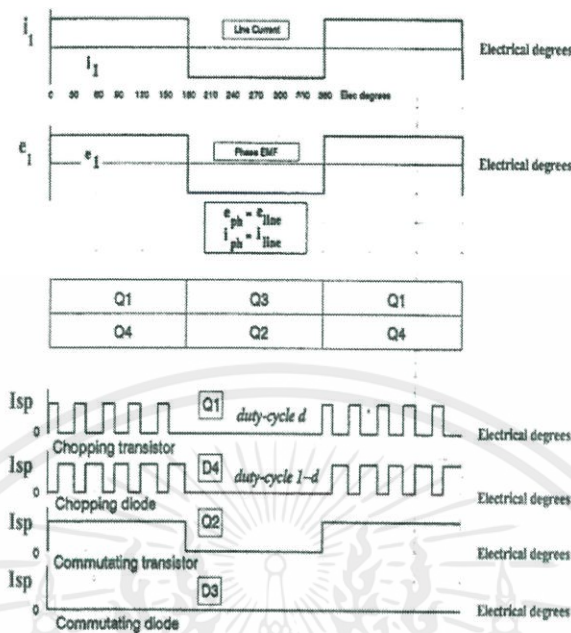


รูปที่ 2.7 วงจร Half-Bridge โดยแสดงการลดระดับของแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรง

ตารางที่ 2.2 การทำงานของวงจรฟูลบริดจ์

Q_1	Q_2	Q_3	Q_4	D_1	D_2	D_3	D_4	V_{load}	I_{load}	Power	
1	1					0	0	$+V_s$	+	+	
0	1	0		0		0	1		+	0	
1	0					1	0		+	0	
0	0					1	1		+	-	
0		1	1	0	0				-	+	
		0	1	0	1	0			-	0	
		1	0	1	0					-	0
		0	0	1	1					-	-

ในกลุ่มที่ 2 สี่แถวต่อมาจะแสดงเทคนิคการควบคุม Q_3 และ Q_4 ทางด้านลบหรือกระแสรีเวิร์ส ระยะเวลาต่อมาสำหรับกระแสไฟฟ้าทางด้านรีเวิร์สจะเกิดทรานซิสเตอร์ Q_1 และ Q_2 ทำงาน และไดโอด D_3 และ Q_2 ทำงาน และไดโอด D_3 และ D_4 ไม่ทำงาน



รูปที่ 2.8 รูปคลื่นแรงดันไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้าของวงจรควบคุมแบบฟูลบริดจ์ โดยมรคาบเวลากระแสฟอว์เวิร์ดที่ Single phase load 180°

รูปที่ 2.8 แสดงรูปคลื่นของกระแสไฟฟ้าและแรงดันไฟฟ้าที่ใช้วงจรควบคุมแบบฟูลบริดจ์ 1 เฟส ซึ่งจะนำกระแสไฟฟ้าทั้งทางด้านฟอว์เวิร์ดและรีเวิร์ด 180° โดยไดอะแกรมนี้จะแสดงคาบเวลาที่ทรานซิสเตอร์แต่ละตัวทำงานและแสดงรูปคลื่น Chopping ของการนำกระแสไฟฟ้าแบบฟอว์เวิร์ด

โดยไดอะแกรมจะแสดงสถานะของทรานซิสเตอร์ Q₁ เมื่อเกิดการ Chopping ที่ 180° ของคาบเวลาทั้งหมด ขณะที่ Q₂ ยังคง ON ตลอดในช่วงเวลานี้ โดยกรณีของ Q₁ จะเรียกว่า Chopping Transistor และในกรณีของ Q₂ จะเรียกว่า Commutating Transistor

โดยวงจร Chopping นั้นสามารถที่จะกำหนดให้ทรานซิสเตอร์ตัวใดตัวหนึ่งระหว่างทรานซิสเตอร์ทั้งสองตัวทำงานยกตัวอย่างเช่น ในครึ่งไซเคิลถัดไปของกระแสทางด้านฟอว์เวิร์ด Q₁ นั้นจะยังคง ON อยู่ในขณะที่ Q₂ เกิดการชอปซึ่งแรงดันที่โหลดจะมีค่าเท่ากับครึ่งไซเคิลแรกแต่อย่างไรก็ตามจะเกิดความร้อนขึ้นที่ตัวทรานซิสเตอร์ทั้งสองเพราะว่ากระแสไฟฟ้าเฉลี่ยและกระแสไฟฟ้า RMS มีค่าเท่ากัน

รูปคลื่นตามรูปที่ 2.8 นั้นสามารถใช้พื้นฐานในการคำนวณหาค่า I_{peak} I_{mean} และ I_{RMS} ในโหลดใน Chopping transistor ใน Commutating transistor และไดโอดในแต่ละตัวตารางที่ 2.3 จะสรุปผลในกรณีที่ทรานซิสเตอร์ทั้งหมด Chopping และตารางที่ 2.4 แสดงกรณีที่เกิดการ Chopping ระหว่างทรานซิสเตอร์ทั้งสองตัวในช่วงเวลาที่สลับกันในแต่ละเฟส

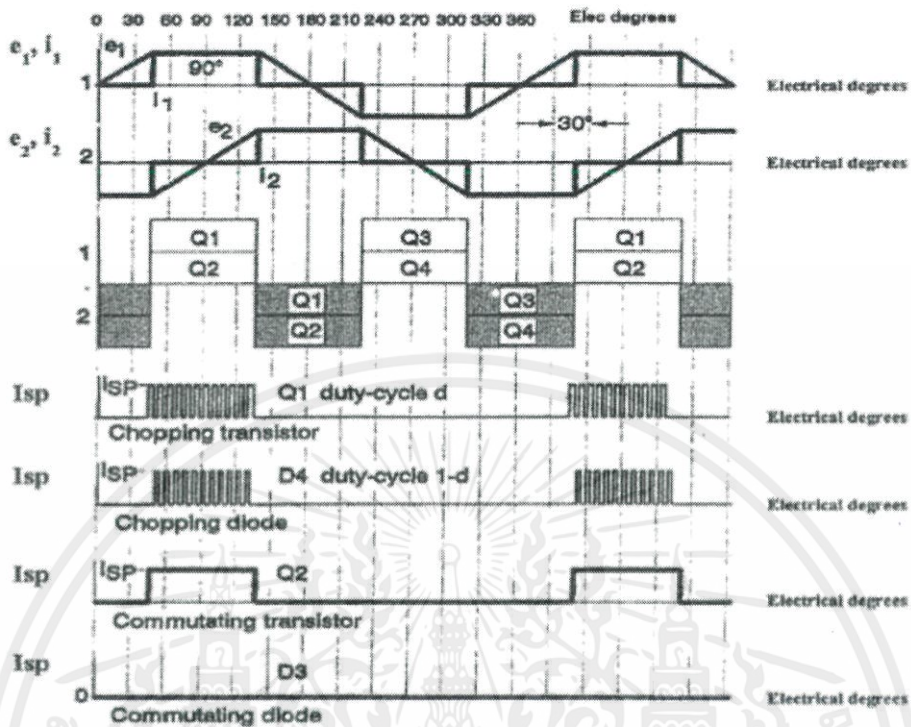
ตารางที่ 2.3 ค่า I_{peak} I_{mean} และ I_{RMS} ของวงจร Single Phase Full-Bridge ที่อุณหภูมิต่างกัน และชั้บแบบ Square Wave

	Peak	Mean	RMS
Line	1	1	1
Chopping Transistor	1	$d/2$	$\sqrt{d/2}$
Chopping Diode	1	$(1-d)/2$	$\sqrt{(1-d)/2}$
Commutating Transistor	1	$1/2$	$\frac{1}{\sqrt{2}}$
Commutating Diode	1	0	0

ตารางที่ 2.4 ค่า I_{peak} I_{mean} และ I_{RMS} ของวงจร Single Phase Full-Bridge ที่อุณหภูมิต่างกัน และชั้บแบบ Square Wave

	Peak	Mean	RMS
Line	1	1	1
Transistor	1	$(1+d)/4$	$\sqrt{(1+d)/2}$
Diode	1	$(1+d)/4$	$\sqrt{(1+d)/2}$

ในการชั้บแบบ 2 เฟสจะกระทำเช่นเดียวกันแต่ทรานซิสเตอร์แต่ละตัวนั้นจะทำงานที่ 90 องศาเท่านั้นแทนที่จะเป็น 180 องศาโดยรูปคลื่นจะแสดงดังรูปที่ 2.9 โดยกระแส I_{peak} I_{mean} และ I_{RMS} ในแต่ละเฟส Chopping Transistor ในตัวนั้นๆสรุปไว้ในตารางที่ 2.4 ถ้าเกิดทรานซิสเตอร์สลับการทำงานในแต่ละไซเคิลสำหรับที่อุณหภูมิต่างกันกระแส I_{peak} I_{mean} และ I_{RMS} จะสามารถสรุปได้ในตารางที่ 2.3



รูปที่ 2.9 รูปคลื่นกระแสและ EMF แบบ 2 เฟส

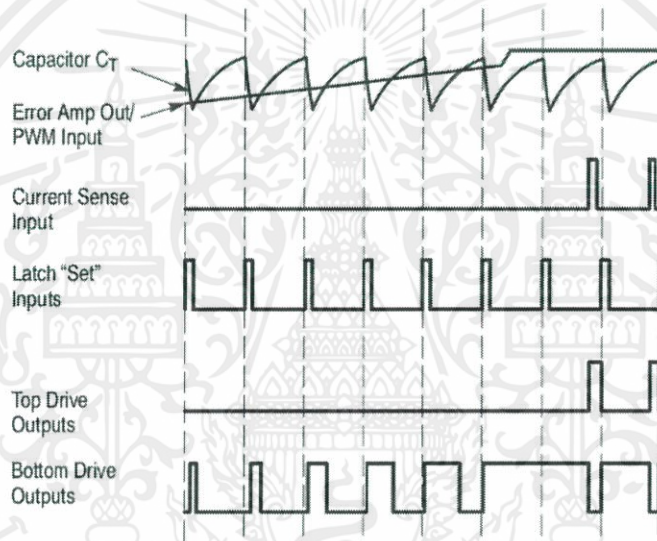
2.3 ไอซีเบอร์ MC33033

2.3.1 คุณสมบัติของไอซี MC33033

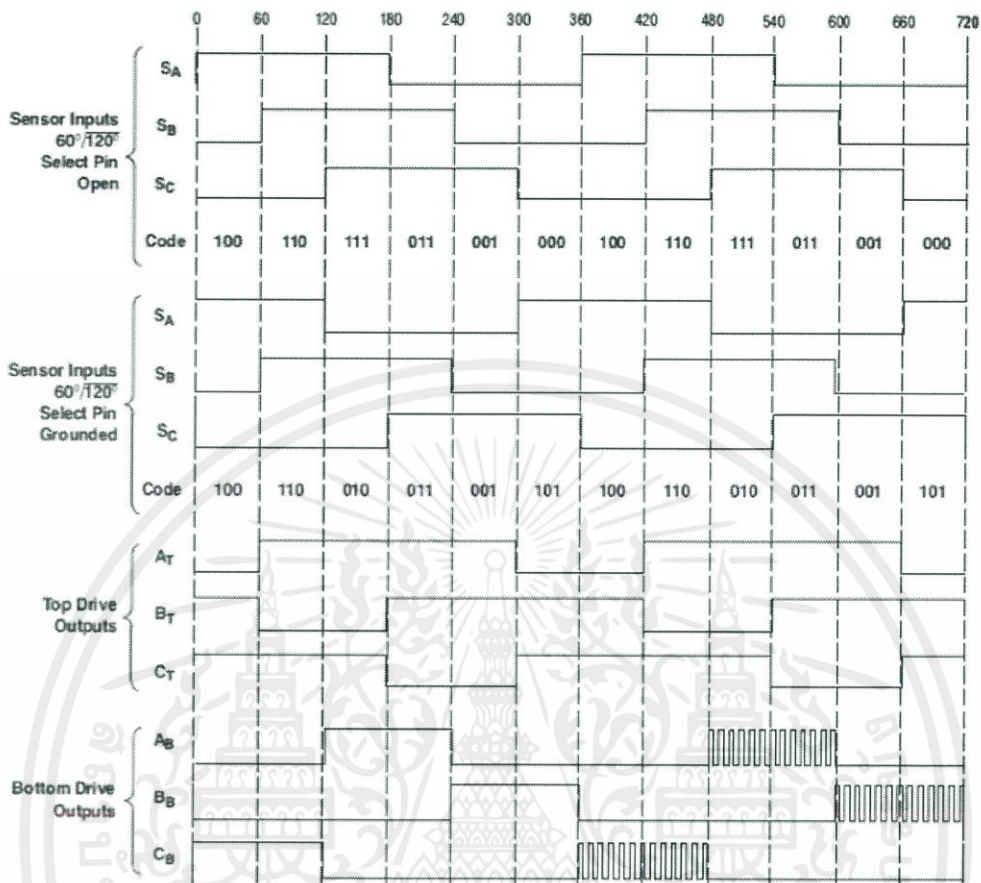
ไอซีเบอร์ MC33033 จะรับสัญญาณจาก Encoder เข้ามาทางขา 4, 5 และ 6 ตามลำดับ แล้วนำสัญญาณที่ได้ผ่านเข้าวงจรตรรกศาสตร์พร้อมกับสัญญาณ F/R ที่ขา 3 กับ $60^\circ/120^\circ$ ที่ขา 18 จากนั้นสัญญาณที่เข้าวงจร AND Gate ทางด้านเอาต์พุตการปรับความเร็วรอบสามารถทำได้โดยปรับความกว้างของสัญญาณพัลส์ของพัลส์วิตมอดูเลชั่นทางด้านเอาต์พุตชุดล่างของไอซีซึ่งจะได้จากการเปรียบเทียบสัญญาณฟันเลื่อยที่ขา 8 กับแรงดันที่ป้อนให้กับวงจรขยายความแตกต่าง (Error Amp) ที่ขา 9 ความกว้างของเอาต์พุตพัลส์ชุดล่างของไอซีสามารถกำหนดให้มีค่ามากที่สุดหรือมีค่าเท่ากับศูนย์ได้ด้วยการเปลี่ยนแปลงระดับแรงดันที่ขา 9 ตั้งแต่ 0 โวลต์เพิ่มขึ้นจนถึง 6 โวลต์แล้วสัญญาณพัลส์วิตมอดูเลชั่นที่ได้จะถูกส่งไปยังวงจร AND Gate ทางเอาต์พุตชุดล่าง

การจำกัดกระแสไฟฟ้ามอเตอร์ทำได้โดยฟังก์ชัน Current Sensor ที่ขา 12 ซึ่งไอซี MC33033 จะมี Op-Amp ทำงานเป็นตัวเปรียบเทียบสำหรับตรวจสอบกระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านมอเตอร์ จากอินเวอร์ตติ้งของตัวเปรียบเทียบจะต่ออยู่กับแรงดันอ้างอิง 100mV ส่วนขาอนอินเวอร์ตติ้งของตัวเปรียบเทียบจะเป็นขาที่รับสัญญาณตรวจจับกระแสไฟฟ้าได้จากการต่อความต้านทานค่าต่างๆอนุกรม

ระหว่างอุปกรณ์กำลังขุดล้างกับกราวด์ การจำกัดกระแสไฟฟ้าอาศัยหลักการทำงานแบบรอบต่อรอบการทำงานแบบรอบต่อรอบจะคอยตรวจจับสัญญาณกระแสในขณะทีอุปกรณ์กำลังนำกระแสไฟฟ้ามี่กระแสไฟฟ้าไหลผ่านมอเตอร์ถ้าสัญญาณกระแสไฟฟ้ามี่ค่าต่ำกว่า 100mV ตัวเปรียบเทียบจะส่งแรงดัน “Low” ไปยังวงจร Latch มอเตอร์จะทำงานตามปกติแต่ถ้าสัญญาณที่ถูกตรวจสอบได้มีค่ามากกว่า 100mV ตัวเปรียบเทียบจะส่งสัญญาณแรงดันไฟฟ้าเป็น “High” ไปยังวงจร Latch ทำให้ไอซีหยุดจ่ายสัญญาณเอาต์พุตชั่วขณะการหยุดจ่ายสัญญาณขับเคลื่อนทำให้มอเตอร์มีกระแสไฟฟ้าลดลงจนสัญญาณกระแสไฟฟ้าที่ตรวจจับได้มีค่าต่ำกว่า 100mV ไอซีจะจ่ายสัญญาณเอาต์พุตต่อไปจะทำงานวนรอบอย่างนี้ไปเรื่อยๆ ดังรูปที่ 2.10 และรูปที่ 2.11



รูปที่ 2.10 รูปคลื่นสัญญาณการทำงานของไอซี MC33033

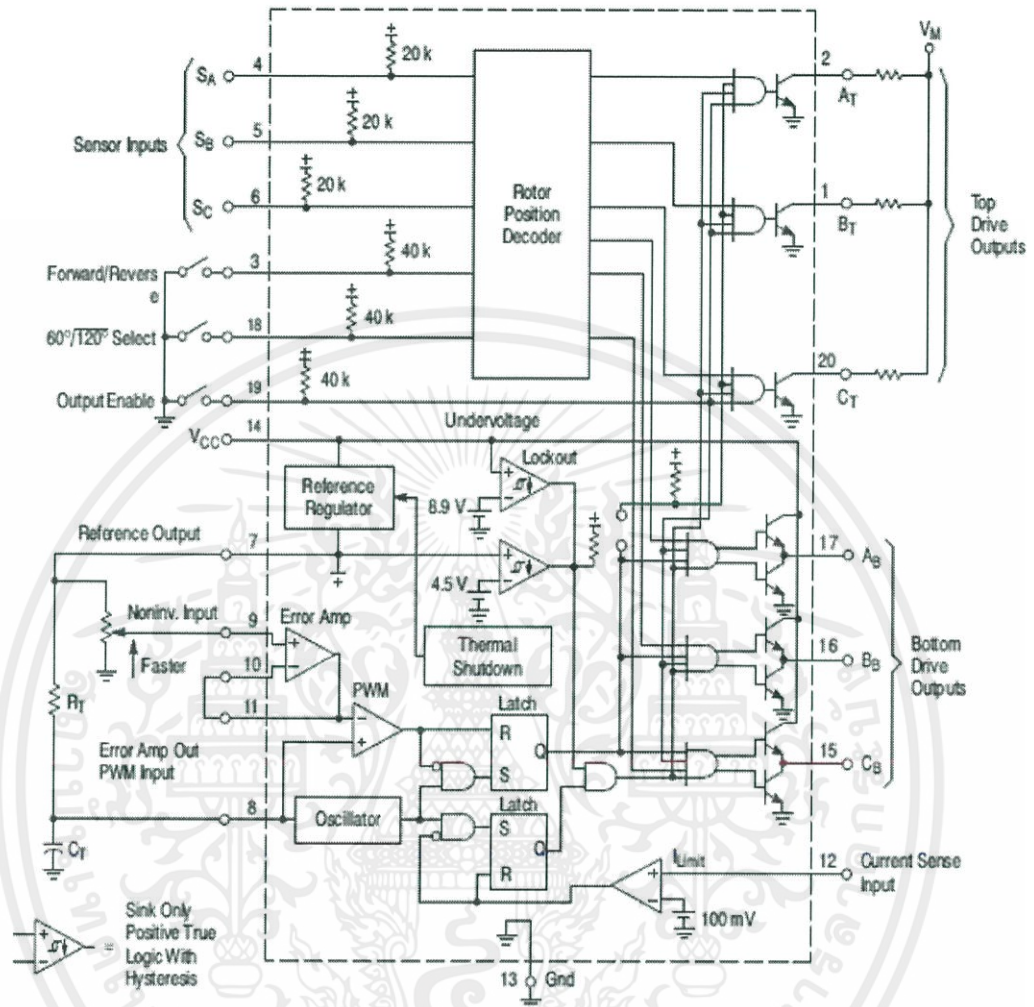


รูปที่ 2.11 รูปคลื่นแสดงตำแหน่งโรเตอร์ 60° และ 120° องศาไฟฟ้า

2.3.2 โครงสร้างของ MC33033

ในการออกแบบชุดควบคุมมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบไร้แปรงถ่านอาศัยหลักการตรวจสอบตำแหน่งของโรเตอร์เป็นองศาแล้วจึงสร้างสนามแม่เหล็กที่เกิดบนสเตเตอร์ให้สัมพันธ์กับโรเตอร์ ซึ่งสามารถปรับความเร็วรอบของมอเตอร์ได้ด้วยการชอปเปอร์แรงดันที่สร้างสนามแม่เหล็กขึ้น ซึ่งในโครงการนี้ได้เลือกใช้ไอซีเบอร์ MC33033 เป็นควบคุม

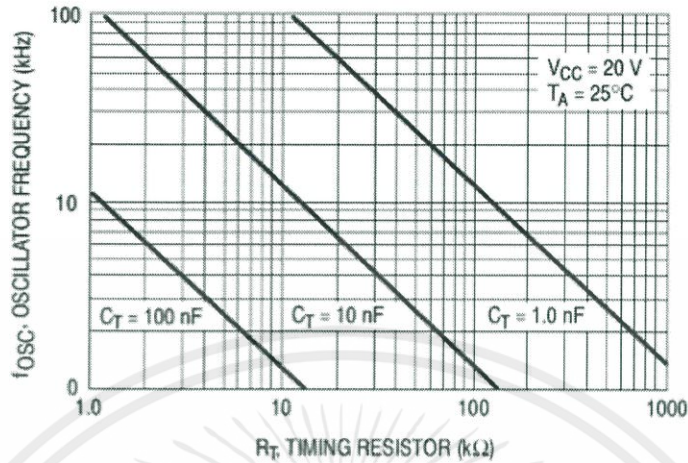
ไอซี MC33033 เป็นไอซีที่ออกแบบมาเพื่อใช้ในงานควบคุมมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบไร้แปรงถ่านโดยที่ไอซีจะรับสัญญาณบอกตำแหน่งของโรเตอร์มาแล้วถอดรหัสสร้างเป็นสัญญาณพัลส์วิดมอดูเลชันโครงสร้างและจัดการของไอซีเบอร์ MC33033 แสดงดังรูปที่ 2.12



รูปที่ 2.12 โครงสร้างภายในและการจัดขาของไอซีเบอร์ MC33033

2.3.3 กำหนดคาบเวลาการทำงานของไอซีเบอร์ MC33033

เพื่อสร้างสัญญาณพัลส์วิดมอดูเลชั่นที่มีความถี่คงที่คาบเวลาการทำงานของเอาต์พุตที่ขา 15, 16 และ 17 จะถูกกำหนดโดยค่าของ R_F และ C_F จากภายนอกที่ขา 8 โดยการต่อ R_F กับแรงดันอ้างอิง ซึ่งมีแรงดันไฟฟ้าประมาณ 6.25V ที่ขา 7 แล้วอนุกรมกับ C_F ลงกราวด์แล้วต่อแรงดันไฟฟ้าตกคร่อม C_F เข้าที่ขา 8 ซึ่งค่าคาบเวลาการทำงานจะกำหนดได้จากกราฟแสดงดังรูปที่ 2.13



รูปที่ 2.13 ความสัมพันธ์ของค่า R_T และ C_T ในการกำหนดความถี่ PWM

2.4 ทฤษฎีและหลักการทำงานของ Battery

2.4.1 ทฤษฎีและหลักการชาร์จแบตเตอรี่

เครื่องชาร์จแบตเตอรี่จะเป็นแหล่งจ่ายกระแสตรง ซึ่งจะจ่ายระดับแรงดันไฟฟ้าให้แบตเตอรี่และจะมีค่าแรงดันไฟฟ้าสูงแบตเตอรี่ในขณะที่มีการคายประจุ การชาร์จแบตเตอรี่จะต่อขั้วบวกของเครื่องชาร์จเข้ากับขั้วบวกของแบตเตอรี่ และต่อขั้วลบของเครื่องชาร์จเข้ากับขั้วลบของแบตเตอรี่โดยที่กระแสที่ทำให้การชาร์จจะมีทิศทางตรงกันข้ามกับกระแสที่แบตเตอรี่ได้ทำการจ่ายออกมา รูปที่ 2.14 เป็นวงจรชาร์จแบตเตอรี่แบบง่าย

โดย E คือ แรงดันที่ทำการชาร์จ

E_c คือ แรงดันที่ขั้วของแบตเตอรี่

R_f คือ ความต้านทานภายในแบตเตอรี่



รูปที่ 2.14 ทิศทางของกระแสที่ไหลขณะทำการชาร์จ

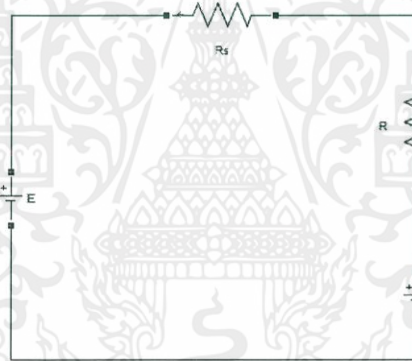
จากรูปที่ 2.14 จะได้สมการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$E = E_c + IR_f \quad (2.3)$$

$$I = \frac{E - E_c}{R_i} \quad (2.4)$$

เมื่อแรงดันที่แบตเตอรี่ (E_c) มีค่าเท่ากับแรงดันที่ชาร์จจะไม่มีกระแสไหลในวงจร ถ้าแรงดันที่แบตเตอรี่มีค่าต่ำกว่าแรงดันที่ชาร์จจะทำให้มีกระแสไหลเพื่อเข้าไปชาร์จแบตเตอรี่ แต่ถ้าแรงดันสูงกว่าแรงดันที่ชาร์จจะทำให้กระแสไหลย้อนกลับจากแบตเตอรี่ค่าความต้านทานภายในของแบตเตอรี่ส่วนมากจะมีค่าน้อยซึ่งมีหน่วยเป็นโอห์ม โดยจะมีค่าเปลี่ยนแปลงในขณะที่มีการชาร์จแบตเตอรี่โดยจะมีผลต่อปริมาณกระแสที่ทำการชาร์จว่ามากหรือน้อยถ้ากระแสในการชาร์จมีปริมาณมากกว่าแบตเตอรี่จะทนได้ อาจจะทำให้แบตเตอรี่เกิดความเสียหายได้ การจะลดปริมาณของกระแสที่ชาร์จแบตเตอรี่ให้ต่ำลงทำได้โดยเอาตัวต้านทานต่ออนุกรมเข้าไปเพื่อจำกัดปริมาณของกระแสที่ไหลได้ตามความต้องการซึ่งวงจรจะมีลักษณะดังรูปที่ 2.15



รูปที่ 2.15 วงจรที่มีความต้านทาน R_s ต่ออยู่เพื่อจำกัดกระแส

จากรูปที่ 2.15 เราจะหาค่าความต้านทานจำกัดกระแสได้จากสมการ R_f

$$I = \frac{E - E_c}{R_i + R_s} \quad (2.5)$$

$$R_s = \frac{E - E_c}{I} - R_i \quad (2.6)$$

2.4.2 คุณสมบัติแบตเตอรี่

แบตเตอรี่สามารถเป็นโหลดและแหล่งจ่ายได้ แบตเตอรี่จะทำหน้าที่เป็นโหลดเมื่อทำการชาร์จ และทำหน้าที่เป็นแหล่งจ่ายกระแสตรงเมื่อนำแบตเตอรี่ไปจ่ายให้กับโหลด(ซึ่งแบตเตอรี่จะสามารถเป็นโหลดและแหล่งจ่ายได้ในเวลาเดียวกัน)ซึ่งในการชาร์จไฟจากแหล่งจ่ายที่จ่ายให้แบตเตอรี่จะต้องมีแรงดันสูงกว่าที่ขั้วของแบตเตอรี่และจะต้องไม่สูงจนเกินไปถ้าเกิดสูงจนเกินไปจะทำให้แบตเตอรี่เกิดความเสียหายได้

2.4.3 ประเภทของแบตเตอรี่

แบตเตอรี่เป็นอุปกรณ์ไฟฟ้าเคมีที่ใช้สำหรับเก็บพลังงานไฟฟ้าและจ่ายออกโดยสภาพของพลังงานไฟฟ้าจะถูกเก็บไว้ในรูปแบบของสารเคมีและจะถูกแปลงออกมาเป็นไฟฟ้าในการแบ่งประเภทของแบตเตอรี่นั้นสามารถแบ่งเป็นประเภทใหญ่ๆได้ 2 ประเภทคือ

1) แบตเตอรี่ชนิด เซลล์ปฐมภูมิ

แบตเตอรี่ชนิดนี้เป็นแบตเตอรี่ที่ใช้ได้ครั้งเดียวหรือใช้แล้วทิ้ง เนื่องจากสารเคมีที่ใช้ในการเปลี่ยนรูปของสารเคมีให้เป็นไฟฟ้านั้นได้หมดลง ดังนั้นแบตเตอรี่ชนิดนี้จึงเหมาะสำหรับอุปกรณ์ขนาดเล็กและเคลื่อนย้ายสะดวก

2) แบตเตอรี่ชนิด เซลล์ทุติยภูมิ

แบตเตอรี่ชนิดนี้เป็นแบตเตอรี่ที่ตรงข้ามกับแบบเซลล์ปฐมภูมิ ซึ่งแบตเตอรี่ชนิดเซลล์ทุติยภูมินี้จะสามารถใช้งานได้อีกเนื่องจากสารเคมีที่ใช้ในการเปลี่ยนรูปแบบนั้นสามารถทำให้กลับไปอยู่ในรูปแบบเดิมได้โดยการผ่านประจุไฟฟ้าหรือกระบวนการชาร์จ

นอกจากนี้แบตเตอรี่ชนิดเซลล์ทุติยภูมียังสามารถแบ่งย่อยออกเป็น 3 ชนิดดังนี้

- 1.) แบตเตอรี่ชนิดที่ต้องเติมน้ำกลั่นตลอดเวลา(Conventional Battery)
- 2.) แบตเตอรี่ชนิดที่บำรุงรักษาน้อย(Hybrid Battery)
- 3.) แบตเตอรี่ชนิดที่ไม่ต้องการบำรุงรักษา(Maintenance Free Battery)

โดยสำหรับแบตเตอรี่ชนิดที่ไม่ต้องการบำรุงรักษานี้สามารถแบ่งออกได้เป็น 3 ชนิดย่อยเช่นกัน คือ

- 1.) ชนิดน้ำ(wet cell)
- 2.) ชนิดเจล(Gel cell)
- 3.) ชนิดแห้ง(Dry cell)

ตารางที่ 2.5 ตารางเปรียบเทียบแบตเตอรี่

Attributes	Ni-Cd	Ni-MH	Li-Ion
Self-Discharging	Yes	Yes	no
Memory Effect	Yes	yes (less than Ni-cd)	no
Storage	charge before storage	discharge before storage	no need to do something special
Shape	Cluster	cluster / slide	slide
Term Of Storage	12 Month	12 Month / 24 Month	-

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากตารางที่ 2.5 จะเห็นได้ว่าแบตเตอรี่แบบลิเทียม-ไอออน นั้นให้กำลังไฟฟ้าสูงไม่มี Memory Effect น้ำหนักเบาและไม่เป็นพิษต่อสิ่งแวดล้อม ผู้วิจัยจึงได้เลือกใช้แบตเตอรี่ชนิดแห้งแบบลิเทียม-ไอออนเนื่องจากเป็นแบตเตอรี่ที่มีความนิยมสูงและมีความเหมาะสมสำหรับงานวิจัยในครั้งนี้อีกทั้งผู้วิจัยได้ทำตารางเปรียบเทียบแบตเตอรี่เป็นตัวประกอบการตัดสินใจในการเลือกตั้งตารางที่ 2.5

2.4.4 แบตเตอรี่ลิเทียม-ไอออน

แบตเตอรี่ชนิดลิเทียม-ไอออน เป็นแบตเตอรี่ชนิดประจุไฟใหม่ได้ โดยหลักการทำงาน จะปล่อย lithium ion จากขั้วลบ (anode) ไปยัง ขั้วบวก (cathode) เมื่อคายประจุ(discharge) และกลับกัน เมื่อประจุ (charge) ลิเทียม-ไอออนจะเคลื่อนที่จากขั้วบวก ไปยังขั้วลบ

แบตเตอรี่ลิเทียม-ไอออนนี้มีส่วนประกอบพื้นฐานหลัก 3 ส่วน คล้ายกับแบตเตอรี่ทั่วไป ดังนี้วัสดุที่ทำ ขั้วบวก ขั้วลบ และ สารสื่อกลางนำไฟฟ้า (cathode, anode & electrolyte)

1. วัสดุที่นิยมใช้ในการทำขั้วลบ

คือ แท่งถ่าน graphite (หรืออาจเป็นสารอื่นๆอีก เช่น silicon, germanium)

2. วัสดุที่ทำขั้วบวกจะเป็น

คือ แผ่นชั้นเคลือบ (layer) ของสารประกอบ lithium ที่นิยมใช้จะมีอยู่ 3 แบบ

1. oxide เช่น lithium cobalt oxide
2. polyanion เช่น lithium Iron phosphate
3. spinel เช่น lithium manganese oxide

3. อิเล็กโทรไลต์

คือ ของเหลวที่อยู่ในรูปเกลือลิเทียม & ตัวทำละลายอินทรีย์ (organic solvent) เพื่อเป็นตัวกลางในการเคลื่อนที่ของลิเทียม-ไอออน(Li+) ไปมาระหว่างขั้วบวกและขั้วลบ



รูปที่ 2.16 แบตเตอรี่ลิเทียม-ไอออน

2.4.5 การบำรุงรักษาแบตเตอรี่แบบแห้ง (Dry Cell Battery Maintenance)

2.4.5.1. การจ่ายกระแสไฟฟ้า (Discharge)

1.1 การใช้งานแบตเตอรี่อย่างหนักเกินความจำเป็น (Over Load) จะส่งผลให้เกิดการจ่ายไฟฟ้าเกินกว่าที่แบตเตอรี่จะสามารถรับได้ (Over Discharge) ซึ่งผลที่ตามมาคืออายุการใช้งานของแบตเตอรี่สั้นลง ดังนั้นการใช้งานแบตเตอรี่แบบบำรุงรักษาควรใช้งานแบตเตอรี่ให้จ่ายกระแสไฟฟ้าประมาณ 70-80% ของความจุแบตเตอรี่ (Capacity)

1.2 ความจุของแบตเตอรี่มีผลต่อความสามารถการจ่ายกระแสไฟฟ้า

1.2.1 เมื่อแบตเตอรี่มีการใช้งานเป็นเวลานาน ความจุแบตเตอรี่จะลดลงตาม cycle life ของแบตเตอรี่ดังตารางที่ 2.6

ตารางที่ 2.6 ตารางแสดง Cycle life ของแบตเตอรี่

	Year of invention, discovery or commercialization	Energy density (Wh/l)	Nominal voltage	Cycle life	
Lead acid	1859	75	2.0	400 - 600	
Nickel cadmium	1899	100	1.2	300 - 500	
Ni Metal hydride (NiMH)	1901	220	1.2	300 - 500	
Standard alkaline	1949	200	1.5	non-rechargeable	
Li/MnO ₂ primary (aka Lithium primary cells)	1992	500	3.0	non-rechargeable	
Silver-oxide (e.g., 357 button cell)	1950	400	1.5	non-rechargeable	
Lithium-ion	Lithium iron phosphate (LFP)	1997	200	3.2	3000+
	Lithium cobalt oxide (LCO)	1991	600	3.8	500
	Lithium nickel-cobalt aluminum oxide (NCA)	ca. 1995	700	3.7	300
Ethanol	ca. 1860	5,800			
Gasoline	ca. 1885	9,000			
Uranium (nuclear fission)	1938	428 x 10 ⁹			

ตารางที่ 2.7 ตารางการสูญเสียความจุถาวรของเซลล์ที่เทียบตามฟังก์ชันของอุณหภูมิและระดับการชาร์จ

Temperature	Lead acid	Nickel-based	Lithium-ion (Li-cobalt)	
	at full charge	at any charge	40% charge	100% charge
0°C	97%	99%	98%	94%
25°C	90%	97%	96%	80%
40°C	62%	95%	85%	65%
60°C	38%	70%	75%	60%
	(after 6 months)			(after 3 months)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4.5.2 การประจุไฟ (Normal Charge)

2.1 ในแต่ละวันจะต้องมีการประจุไฟฟ้าแบตเตอรี่ โดยที่จะต้องไม่ให้อุณหภูมิของอิเล็กโทรไลต์ สูงเกิน 50°C และควรลดกระแสในการประจุไฟเพื่อป้องกันไม่ให้อุณหภูมิของอิเล็กโทรไลต์สูงขึ้น

2.2 ตรวจสอบให้แน่ใจว่าในการต่อปลั๊กเพื่อการประจุไฟต้องแน่นกระชับขั้วถูกต้อง Charger อยู่ในตำแหน่ง Off เมื่อ On Charger แล้วห้ามถอดหรือขยับปลั๊กเพราะอาจทำให้เกิดประกายไฟซึ่งจะเป็นอันตรายต่อสะพานไฟข้อต่อต่างๆหากมีความจำเป็นควร Cut Off Power Source

2.4.6 ระบบชาร์จ

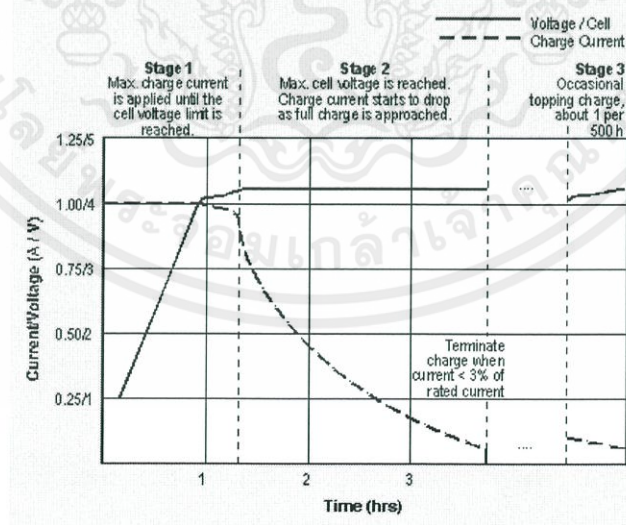
2.4.6.1 การชาร์จแบตเตอรี่ลิเทียม-ไอออน

เซลล์แบตเตอรี่ส่วนใหญ่จะถูกชาร์จที่ความต่างศักย์ $4.2\text{ V} \pm 0.05$ โดยที่กระบวนการชาร์จจะสามารถแบ่งได้เป็น 3 ระยะ

ระยะที่ 1: การชาร์จด้วยกระแสเต็ม (current limit) จนเซลล์แบตเตอรี่ได้ความต่างศักย์ที่กำหนดไว้(เกือบเต็ม)ระยะนี้เหมือนเป็นการชาร์จในอัตราเร่ง

ระยะที่ 2: การชาร์จต่อให้เซลล์แบตเตอรี่แต่ละเซลล์ ถึงระดับความต่างศักย์สูงสุด (maximum voltage limit) คล้ายๆกับการค่อยๆเติมประจุ ในระยะนี้กระแสของเครื่องชาร์จที่เข้า cell จะลดลง(ตามรูป 2.17)และจะตัดการชาร์จเมื่อกระแสต่ำกว่า 3% ของอัตรากระแสเฉลี่ย

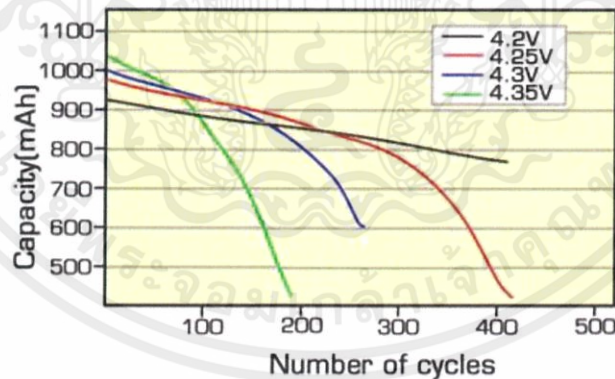
ระยะที่ 3 : การชาร์จแบบเติมเต็มเป็นครั้งๆ(occasional topping charge) เป็นการเติมประจุเป็นครั้งคราวประมาณ 1 ครั้งทุก 500 ชม.



รูปที่ 2.17 แสดงกราฟการชาร์จแบตเตอรี่ชนิดลิเทียม-ไอออนทั้ง 3 ระยะ

ซึ่งโดยปกติแล้วแบตเตอรี่ลิเทียม-ไอออนจะสามารถชาร์จแบตเตอรี่จนเต็มได้ภายในเวลา 3 ชั่วโมงอย่างไรก็ตามการชาร์จแบตเตอรี่ชนิดลิเทียม-ไอออนนั้นมีข้อควรระวังดังนี้

- 1.) ไม่ควรปล่อยให้เกิดภาวะ deep discharge (การใช้น้ำแบตเตอรี่หมดเกลี้ยง) เพราะจะทำให้ batt เกิดความเครียด (battery strain)
- 2.) เนื่องจากแบตเตอรี่ลิเทียม-ไอออนไม่มี memory effect เหมือน Ni-Cd หรือ Ni-MH ดังนั้นการชาร์จเต็มประจุเรื่อยๆ (partially charge) จะส่งผลดีกว่าซึ่งผู้ใช้ส่วนใหญ่อาจยังเข้าใจผิด
- 3.) แบตเตอรี่ลิเทียม-ไอออนไม่จำเป็นต้องมีการกระตุ้นเซลล์ ในการใช้ครั้งแรก (initial activation) เหมือน Ni-Cd หรือ Ni-MH ที่แนะนำให้ชาร์จครั้งที่ 17-18 ชม. เพราะการทำงานของแบตเตอรี่ลิเทียม-ไอออนไม่ถูกออกแบบมาให้การประจุแบบ trickle charge
- 4.) การชาร์จที่กระแสสูงไม่ได้ทำให้ระยะเวลาการชาร์จโดยรวมลดลงมากนักเพราะจะเป็นการเร่งระยะเวลาของการชาร์จระยะที่ 1 ให้ถึง voltage limit เร็วขึ้นแต่ก็ต้องรอเวลาสำหรับ topping charge ในปลายระยะ 1 และ ระยะ 2
- 5.) การชาร์จด้วยความต่างศักย์ต่ำกว่าจะช่วยยืดอายุแบตเตอรี่ตามรูปที่ 2.18 ยิ่งชาร์จด้วยแรงดันสูงถึงแม้ว่าจะได้ความจุเพิ่มขึ้นแต่ต้องแลกมากับอายุการใช้ (cycle life) ที่ลดลง

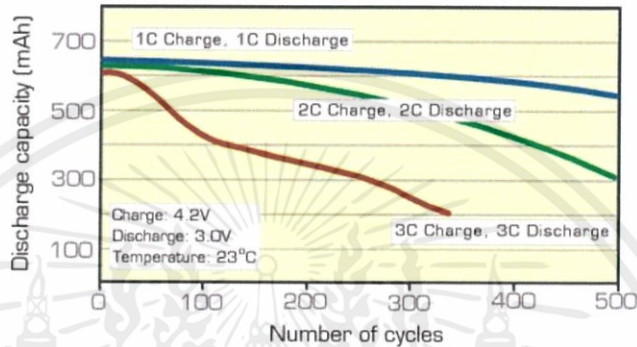


รูปที่ 2.18 แสดงกราฟความสัมพันธ์ระหว่างความจุและจำนวน cycle life ของแบตเตอรี่ลิเทียม-ไอออน

- 6.) การเพิ่มกระแสของการชาร์จ และการดึงกระแสออกมาใช้ (discharge current) หากเพิ่มขึ้นจะทำให้แบตเตอรี่เสื่อมเร็วขึ้นจากในรูป 2.19 การชาร์จและการดิสชาร์จที่ 1C จะทำให้แบตเตอรี่ทนกว่า 2C และ 3C ตามลำดับ

หมายเหตุ : C =current=ปริมาณกระแสที่แบตเตอรี่ประจุออกมาจนหมดเกลี้ยงเมื่อมี load ภายใน 1 ชั่วโมงเช่นหากต่อ load ที่กินกระแส 800 mA แล้วแบตเตอรี่ที่ชาร์จเต็มหมดภายใน 1 ชั่วโมงพอดี C ก็เท่ากับ 800mA , $2C = 1600mA$ และ $3C = 2400mA$ ดังนั้นจะเห็นได้ว่าการประจุไฟที่กระแสต่ำกว่าจะส่งผลให้อายุการใช้ของแบตเตอรี่ที่นานขึ้น cycle life ยาวขึ้น

Cycle performance at various charge/discharge rates

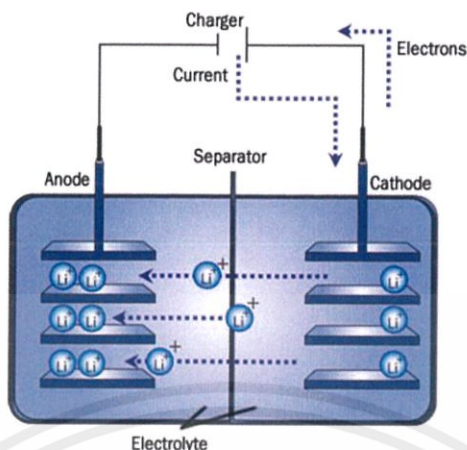


รูปที่ 2.19 แสดงกราฟความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณการใช้งานและจำนวน cycle life ของแบตเตอรี่ ลิเทียม-ไอออน

- 7.) การเก็บแบตเตอรี่ที่ไม่ได้ใช้ควรชาร์จที่ 40% ความจุและเก็บในที่เย็นอาจจำเป็นต้องนำมาชาร์จเป็นครั้งคราวเพื่อให้ขดเคย์ไฟที่ถูกใช้ไปจากวงจรควบคุมความปลอดภัยของแบตเตอรี่
- 8.) จุดที่สำคัญที่ควรระวังโดยเฉพาะการใช้งานจริงในประเทศไทยคือ ไม่ควรเก็บแบตเตอรี่ที่ชาร์จเต็ม (fully charged) ไว้ในที่อุณหภูมิสูง(เช่นในรถที่ร้อนๆ)เนื่องจาก ณ จุดที่ชาร์จเต็มหากมีการใช้งานตามปกติอุณหภูมิขณะทำงาน(operated temperature) จะเท่ากับ 45°C อยู่แล้วซึ่งการเก็บไว้ในรถที่ตากแดดร้อนจะยิ่งทำให้อุณหภูมิสูงขึ้นมาก

2.4.6.2 หลักการชาร์จแบตเตอรี่ลิเทียม-ไอออน

เมื่อมีการอัดประจุ (charge) ไอออนของลิเทียมจะเคลื่อนออกจากโครงสร้างของขั้วบวกผ่านเยื่อเลือกผ่านเข้าสู่ขั้วลบเกิดเป็นสารประกอบของลิเทียมและคาร์บอนและขณะเดียวกันอิเล็กตรอนจะเคลื่อนจากขั้วบวกสู่ขั้วลบผ่านวงจรภายนอกและขณะเกิดการคายประจุ(discharge) ปฏิกริยาจะเกิดในทางตรงกันข้ามดังแสดงในภาพที่ 2.20กระบวนการที่ไอออนของลิเทียมสอดแทรกเข้าไปอยู่ในโครงสร้างของวัสดุขั้วบวกหรือขั้วลบเรียกว่า lithium intercalationหรือ lithium insertion



รูปที่ 2.20 แสดงหลักการทำงานของแบตเตอรี่ลิเทียม-ไอออนขณะอัดประจุ

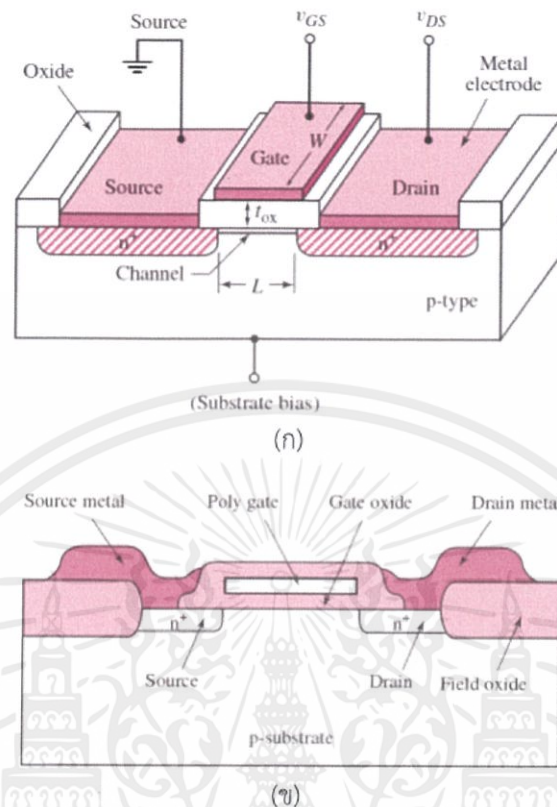
2.4.7 การนำแบตเตอรี่ไปใช้งาน

1. For cycle use การนำแบตเตอรี่ไปใช้งานแล้วใช้ให้หมดแล้วนำแบตเตอรี่นั้นมาทำการชาร์จใหม่ ซึ่งเหมาะสมกับการชาร์จแบบเร็ว (fast charge)
2. For standby use ในขณะที่แบตเตอรี่นั้นจะถูกทำการชาร์จตลอดเวลาใช้งาน ซึ่งเหมาะกับการรักษาระดับแรงดันการกำจัดกระแสชาร์จ

2.5 ทฤษฎี MOSFET

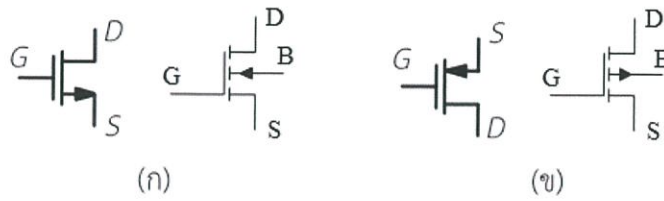
2.5.1 MOSFET (Metal Oxide Semiconductor Field Effect Transistor: MOSFET)

MOSFET (Metal Oxide Semiconductor Field Effect Transistor: MOSFET) เป็นอุปกรณ์สารกึ่งตัวนำที่มีการทำงานในลักษณะที่แปลงแรงดันเป็นกระแส กระแสที่ได้เป็นผลมาจากอิเล็กตรอนหรือโฮลซึ่งเป็นพาหะข้างมาก (Majority Carrier) ขึ้นอยู่กับว่าอุปกรณ์ดังกล่าวเป็น MOSFET ชนิดเอ็น (NMOS) หรือ MOSFET ชนิดพี (PMOS) MOSFET สามารถแบ่งได้เป็น 2 ประเภท ได้แก่ MOSFET แบบดีพลีชัน (Depletion) และ MOSFET แบบเอ็นฮานซ์เมนต์ (Enhancement) MOSFET แต่ละประเภทยังสามารถแบ่งย่อยได้อีก 2 ชนิด คือ MOSFET ชนิดเอ็น (NMOS) ซึ่งมีประจุพาหะอิเล็กตรอนเป็นตัวนำกระแส และ MOSFET ชนิดพี (PMOS) ซึ่งมีประจุพาหะโฮลเป็นตัวนำกระแส

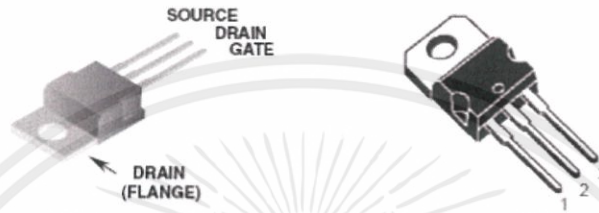


รูปที่ 2.21 โครงสร้างของมอสเฟตแบบเอ็นฮานซ์มีนั้ท์ชนิดเอ็น (ก) ภาพ 3 มิติ และ (ข) ภาพหน้าตัด

รูปที่ 2.21 แสดงโครงสร้างของมอสเฟตแบบเอ็นฮานซ์มีนั้ท์ชนิดเอ็น(NMOS) ขั้วซอส (Source) และขั้วเดรน(Drain) ถูกสร้างขึ้นโดยการแพร่อะตอมสารเจือชนิดเอ็นที่มีความหนาแน่นมาก (Heavily Doped N-Type Region) เข้าไปในฐานรอง(Substrate) ของสารกึ่งตัวนำชนิดพี ซึ่งเป็นแผ่นผลึกซิลิกอนรูปเดี่ยว(Single-Crystal) ที่มีความหนาแน่นน้อย(Lightly Doped P-Type Substrate) ขั้วเกต(Gate) จะเป็นส่วนของโลหะ(Metal) หรือชั้นของโพลีซิลิกอน(Poly-Silicon) ซ้อนอยู่บนชั้นของออกไซด์ระหว่างขั้วเดรนและขั้วซอส โดยมีระยะห่างระหว่างขั้วทั้งสองเป็นความยาวของมอสเฟต(Channel Length; L) และมีระยะทางด้านข้าง(Side-Wall) เป็นความกว้างของมอสเฟต(Channel Width; W) โครงสร้างของมอสเฟตแบบเอ็นฮานซ์มีนั้ท์ชนิดพี(PMOS) จะมีลักษณะคล้ายคลึงกับมอสเฟตแบบเอ็นฮานซ์มีนั้ท์ชนิดเอ็น(NMOS) แต่จะสลับกัน คือ มอสเฟตชนิดพีจะประกอบด้วยผลึกฐานรองชนิดเอ็น(N-Type) ที่มีความหนาแน่นน้อยและการแพร่อะตอมสารเจือชนิดพีที่มีความหนาแน่นมากเข้าไปฐานรองเพื่อเป็นขั้วซอสและขั้วเดรน รูปที่ 2.21 แสดงสัญลักษณ์ของมอสเฟตแบบเอ็นฮานซ์มีนั้ท์ที่วาดมาจากการอ้างอิงโครงสร้างมอสเฟต



รูปที่ 2.22 สัญลักษณ์ของมอสเฟตแบบเอ็นฮานซ์เม้นท์ชนิด (ก) NMOS และ (ข) PMOS

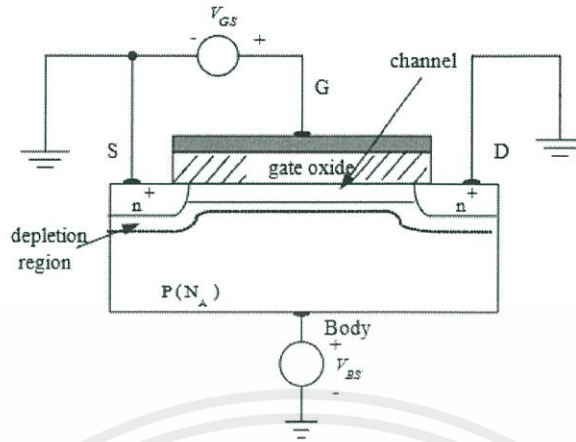


รูปที่ 2.23 อุปกรณ์มอสเฟต

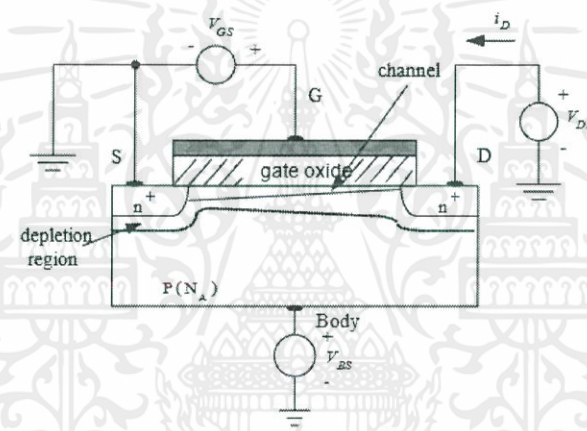
จากรูปที่ 2.23 แสดงอุปกรณ์ภาพมอสเฟตที่ถูกนำไปใช้ในวงจรขยายของเพาเวอร์แอมป์ปริไฟล์และวงจรสวิตซ์ซิง คอนเวอร์เตอร์ ตัวอุปกรณ์มอสเฟตสามารถมีกระแสไหลผ่านจำนวนมากได้

2.5.2 การไบอัสมอสเฟตนำกระแส

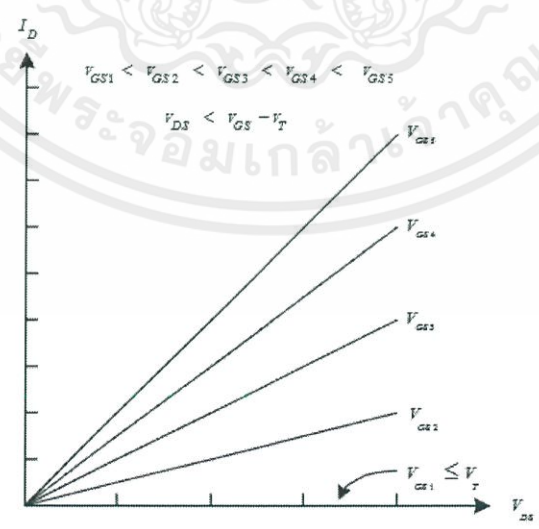
จากรูปที่ 2.24 แสดงการป้อนแรงดันค่าบวกเข้าที่ขาเกตเทียบกับขาซอส(V_{GS}) ซึ่งแรงดัน V_{GS} มีขนาดเพียงพอจะทำให้เกิดช่องทางเดินของกระแสระหว่างขาซอส และขาเดรนค่าแรงดันที่ทำให้เกิดช่องทางเดินของกระแสนี้เรียกว่า แรงดันขีดเริ่ม(Threshold Voltage : V_T) กระแสไหลผ่านช่องทางเดินกระแสมีค่าเท่ากับศูนย์เนื่องจากความต่างศักย์ระหว่างขาเดรนและขาซอสมีค่าเท่ากับศูนย์ สำหรับการเกิดของช่องทางเดินกระแสในมอสเฟตแบบเอ็นฮานซ์เม้นท์ชนิดพี(PMOS) สามารถทำได้โดยป้อนแรงดันค่าลบเข้าที่เกตเทียบกับซอสให้มีค่าเท่ากับหรือน้อยกว่าแรงดันขีดเริ่ม เมื่อป้อนแรงดันบวกระหว่างขาเกตเทียบกับขาซอสให้มีค่ามากกว่าแรงดันขีดเริ่มและป้อนแรงดันค่าบวกเข้าที่ขาเดรนเทียบกับขาซอส ดังที่แสดงในรูปที่ 2.25 ทำให้เกิดความต่างศักย์ขึ้นระหว่างขั้วทั้งสอง($V_{DS} < V_{GS} - V_T$) กระแสเดรนจะไหลผ่านช่องทางเดินกระแสจากขาเดรนไปยังขาซอสโดยคุณสมบัติของกระแสเดรน (I_D) เมื่อเทียบกับแรงดันที่ตกคร่อมระหว่างขาเดรนและซอส(V_{DS}) ดังที่แสดงในรูปที่ 2.26 ความสัมพันธ์ของกระแสเดรนกับแรงดันที่ตกคร่อมระหว่างขาเดรนและซอสจะเป็นแบบเชิงเส้น(Linear Region) ลักษณะการทำงานของมอสเฟตช่วงนี้มีลักษณะเป็นความต้านทานเชิงเส้นที่ถูกควบคุมโดยแรงดันที่ขาเกตเทียบกับขาซอส



รูปที่ 2.24 การสร้างช่องทางเดินกระแสให้กับมอสเฟตแบบเอ็นชานซ์เม้นท์ชนิดเอ็น

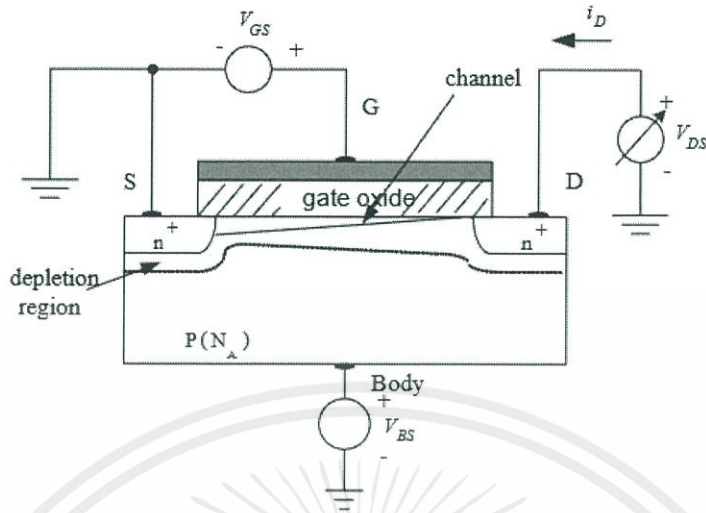


รูปที่ 2.25 การกำหนดจุดการทำงานให้มอสเฟต เมื่อ $V_{GS} > V_T$ และ V_{DS} มีค่าน้อย



รูปที่ 2.26 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างกระแสเดรนกับแรงดัน V_{DS} ที่มีค่าน้อย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.27 การกำหนดจุดการทำงานให้มอสเฟตเมื่อ $V_{GS} > V_T$ และปรับค่า V_{DS} มีค่ามากกว่า $V_{GS} - V_T$

เมื่อปรับแรงดัน V_{DS} ให้มีค่ามากขึ้นจนกระทั่ง $V_{DS} \geq V_{GS} - V_T$ ดังรูปที่ 2.27 ลักษณะของช่องทางเดินกระแสจะมีลักษณะที่ลาดเอียงไปทางส่วนของเดรนจนถึงจุดที่เรียกว่าจุดพินชออฟ (Pinched Off) ศักย์ไฟฟ้าที่จุดพินชออฟนี้จะมีค่าเท่ากับ $V_{DSAT} = V_{GS} - V_T$ สถานะดังกล่าวมอสเฟตจะทำงานในย่านอิ่มตัว (Saturation Region)

2.5.3 ย่านการทำงานของมอสเฟต

การแบ่งย่านการทำงานของมอสเฟตพิจารณาจากการจัดไบอัสของมอสเฟตซึ่งได้แก่แรงดัน V_{GS} , V_{DS} และ V_T สามารถแบ่งช่วงการทำงานออกได้เป็น 3 ย่าน (Region) ดังต่อไปนี้

2.5.3.1 ช่วงคัทออฟ (Cutoff Region); ($V_{GS} < V_T$)

ช่วงคัทออฟคือช่วงที่มอสเฟตไม่ทำงานกรณีนี้จะไม่ช่องทางเดินกระแสจึงทำให้มอสเฟตไม่สามารถนำกระแสเดรน (I_D) ได้

$$I_D = 0 \quad (2.7)$$

2.5.3.2 ช่วงเชิงเส้น (Linear Region); ($V_{DS} < V_{GS} - V_T$)

ช่วงเชิงเส้นเป็นช่วงที่แรงดันไบอัสที่ขาเกตและขาซอสมีค่ามากกว่าแรงดันขีดเริ่ม ($V_{GS} > V_T$) และแรงดันระหว่าง V_{DS} มีค่าน้อยกว่า $V_{GS} - V_T$ โดยสามารถหากระแส I_D ได้ดังนี้

$$I_D = k \left[(V_{GS} - V_T) V_{DS} - \frac{V_{DS}^2}{2} \right] \quad (2.8)$$

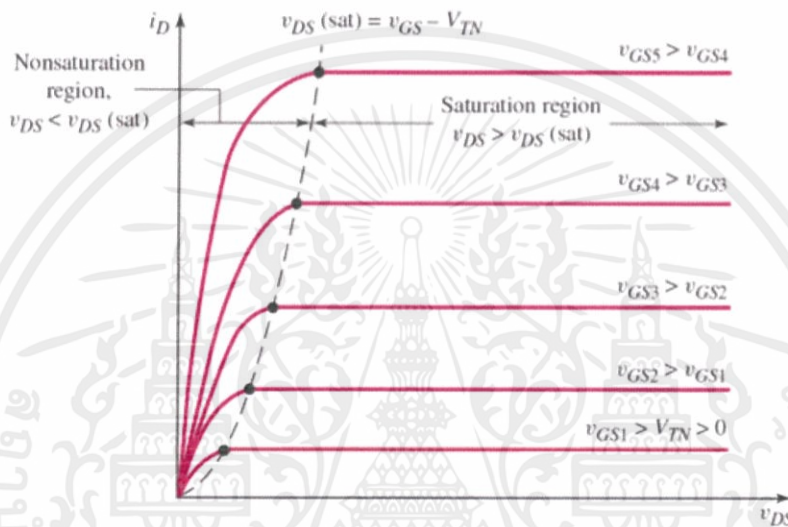
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.5.3.3 ช่วงอิ่มตัว (Saturation Region); ($V_{DS} \geq V_{GS} < V_T$)

ช่วงอิ่มตัวเป็นช่วงที่แรงดันที่ขาเกตและขาซอสมีค่ามากกว่าแรงดันขีดเริ่ม ($V_{GS} > V_T$) และแรงดัน V_{DS} มีค่ามากกว่าหรือเท่ากับ $V_{GS} - V_T$ สามารถหากระแส I_D ได้ดังนี้

$$I_D = K(V_{GS} - V_T)^2(1 + \lambda V_{DS}) \quad (2.9)$$

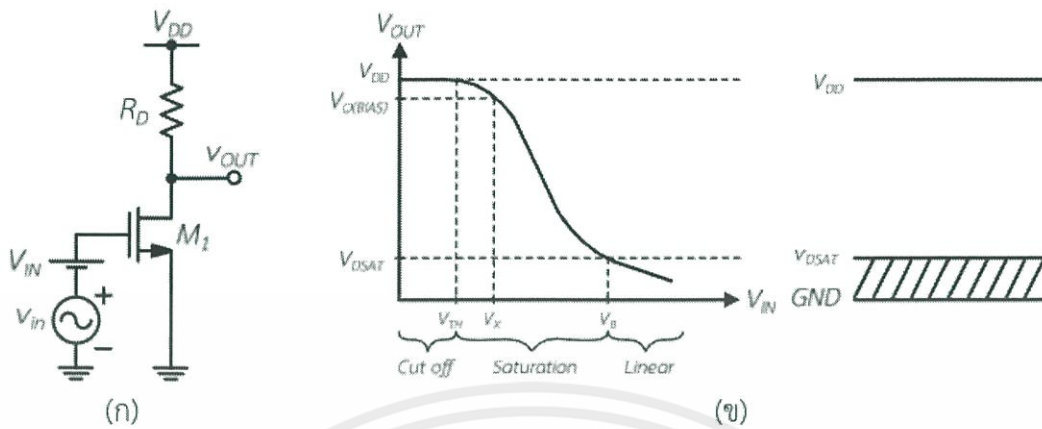
เมื่อ k คือ ค่าสัมประสิทธิ์ความนำ (Transconductance Parameter)



รูปที่ 2.28 คุณสมบัติกระแส-แรงดัน (I-V Characteristic) ของมอสเฟตชนิด NMOS

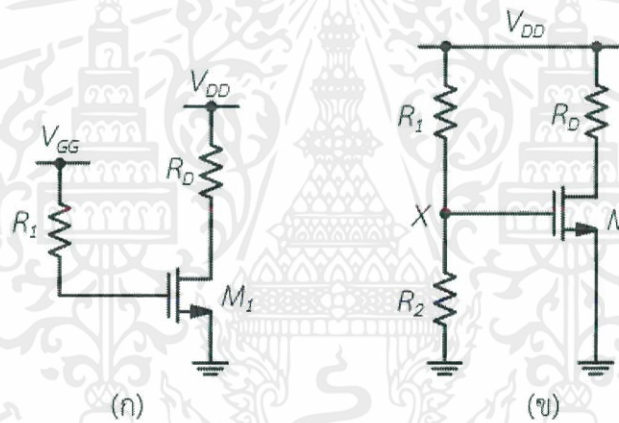
2.5.4 วงจรไบอัสมอสเฟต

การนำมอสเฟตไปใช้เป็นวงจรขยายสัญญาณหรือวงจรอื่นจะต้องทำการไบอัสมอสเฟตให้ทำงานในย่านอิ่มตัว รูปที่ 2.29 (ก) แสดงวงจรเทียบเคียงวงจรขยายที่ถูกไบอัสด้วยแรงดันดิซี (V_{IN}) และมีการป้อนสัญญาณขนาดเล็ก (v_{in}) รูปที่ 2.29 (ข) แสดงกราฟคุณลักษณะทางดิซีเมื่อทำการไบอัสแรงดันดิซีเข้าที่ขาเกตของมอสเฟตมีค่าเท่ากับศูนย์โวลต์มอสเฟตไม่นำกระแส ส่งผลให้แรงดันเอาต์พุตเท่ากับ V_{DD} เมื่อทำการปรับแรงดันเพิ่มมากขึ้นแต่น้อยกว่าแรงดันขีดเริ่มมอสเฟตยังไม่นำกระแส ส่งผลให้แรงดันเอาต์พุตยังคงเท่ากับ V_{DD} ช่วงนี้มอสเฟตทำงานในย่านคัทออฟ เมื่อป้อนแรงดันที่ขาเกตมากกว่าแรงดันขีดเริ่มมอสเฟตเริ่มนำกระแสทำให้เกิดแรงดันเอาต์พุต เมื่อแรงดันไบอัสในช่วง $V_{TH} < V_{IN} < V_B$ กระแส I_D ไหลมากขึ้น ส่งผลให้แรงดันเอาต์พุตลดลงเนื่องจากแรงดันส่วนมากจะไปตกคร่อมที่ตัวต้านทาน R_D ช่วงนี้มอสเฟตทำงานในย่านอิ่มตัวและเมื่อแรงดันไบอัสในช่วง $V_B < V_{IN}$ ส่งผลให้แรงดันเอาต์พุตลดลงน้อยกว่าแรงดัน V_{DSAT} ช่วงนี้มอสเฟตทำงานในย่านเชิงเส้น



รูปที่ 2.29 (ก) วงจรเทียบเคียงการไบอัสแรงดันดีซีและการป้อนสัญญาณอินพุต

(ข) กราฟคุณลักษณะทางดีซี



รูปที่ 2.30 วงจรไบอัสมอสเฟต (ก) ไบอัสด้วย V_{GG} (ข) ไบอัสด้วย V_{DD}

การไบอัสมอสเฟตให้ทำงานในย่านอิมิตัวสามารถทำได้ 2 วงจรดังแสดงในรูปที่ 2.20 เนื่องจากแรงดัน $V_x = V_{GS}$ ดังนั้น แรงดัน V_{GS} เท่ากับ

$$V_{GS} = \frac{R_2}{R_1 + R_2} V_{DD} \tag{2.10}$$

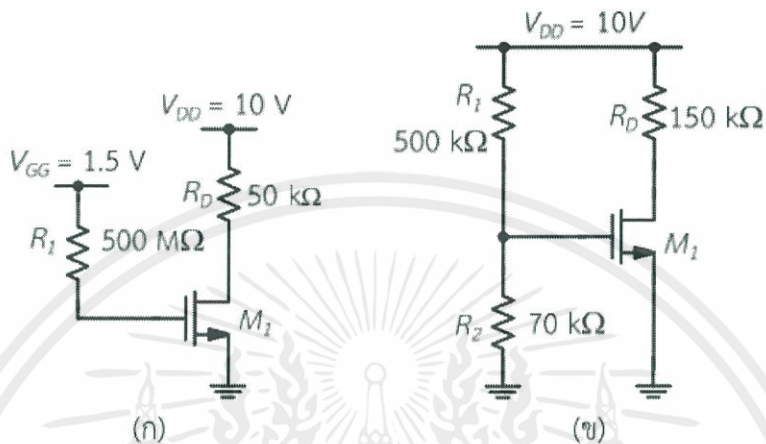
กระแส I_D มีค่าเท่ากับ

$$I_D = K_n (V_{GS} - V_{TH})^2 \tag{2.11}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เราสามารถหาค่าแรงดัน V_{DS} ได้

$$V_{DS} = V_{DD} - I_D R_D \quad (2.12)$$



รูปที่ 2.31 วงจรไบอัสมอสเฟต (ก) ไบอัสด้วย V_{GG} และ (ข) ไบอัสด้วย V_{DD}

2.6 วงจรภาคกำลัง

ในการเลือกใช้วงจรภาคกำลังต้องให้เหมาะสมกับมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบไร้แปรงถ่านซึ่งมอเตอร์ชนิดนี้ที่เลือกใช้มีขดลวด 3 ขดดังนั้นสามารถใช้วงจรภาคกำลังชนิด 3 เฟสแบบบริดจ์จำนวน 1 ชุดซึ่งแต่ละชุดจะประกอบเพาเวอร์มอสเฟตโดยทำหน้าที่ขบเปอร์ 6 ตัวเพราะฉะนั้นในโครงการนี้ ใช้เพาเวอร์มอสเฟตในการสร้างวงจรอินเวอร์เตอร์ ดังรูปที่ 2.25 ทั้งหมด 6 ตัว

ในการเลือกเพาเวอร์มอสเฟตโดยคำนึงแรงดันที่จ่ายให้กับมอเตอร์ตามลักษณะของตัวมอเตอร์ซึ่งมีขนาดแรงดันต่ำแต่มีกำลังวัตต์สูงดังนั้นต้องเลือกใช้เพาเวอร์มอสเฟตที่มีแรงดันที่ทำให้สภาวะอิ่มตัว (V_{SAT}) ค่าต่ำและพิจารณาที่กระแสมอเตอร์ซึ่งมีการคำนวณหากระแสของมอเตอร์ได้จากสมการ (2.13)

$$I_{max} = \frac{P_{max}}{V_{max}} \quad (2.13)$$

มอเตอร์มีคุณสมบัติดังนี้แรงดันไฟฟ้า 24V กำลังไฟฟ้า 250W ดังนั้นกระแสจึงได้ดังนี้

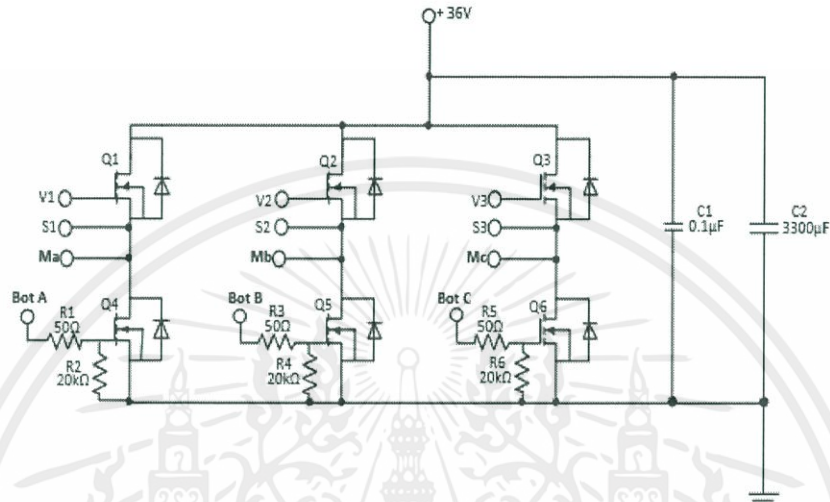
$$I_{max} = \frac{250}{24} = 10.41 \text{ A}$$

เมื่อคิดกระแสช่วงสตาร์ทที่ 9 เท่า

$$I_{max} = 9 \times 10.41 = 93.75 \text{ A}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ดังนั้นจึงเลือกใช้ MOSFET กำลังเบอร์ IRF3205 เพราะมีค่า $V_{DSS} = 80V$, $R_{DS(ON)} = 8.0m\Omega$, $I_D = 110A$ เมื่อแรงดันในช่วงอิมพัลส์สูงสุดประมาณ $8.0m\Omega \times 80A = 0.88V$ แต่เนื่องจากวงจรที่ใช้มี MOSFET จำนวน 2 ตัว ในขณะที่จ่ายแรงดันให้กับมอเตอร์ทำให้เกิดแรงดันตกคร่อมที่ตัว MOSFET 1.76V ทำให้เกิด Power Losses ขึ้นโดยจะทำให้ตัว MOSFET ร้อน



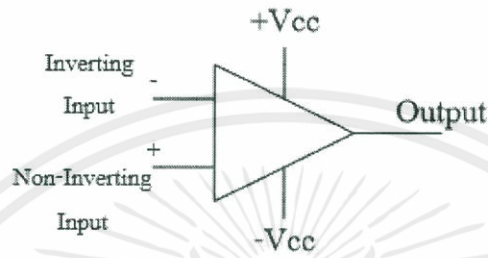
รูปที่ 2.32 วงจรภาคกำลัง

แบบ 3 เฟส โดยใช้เฟสละ 2 ตัว เพื่อให้สัมพันธ์กับจำนวนของขดลวดมอเตอร์ซึ่งในแถวที่ 1 Q₁ กับ Q₄ จะเป็นตัวควบคุมของเฟส A ของ Q₂ กับ Q₅ ของเฟส B และ Q₃ กับ Q₆ ของเฟส C ในส่วนของ Q₁ Q₂ Q₃ จะเป็นตัวรับสัญญาณจาก Top Drive ซึ่งมาจากไอซีและ Q₄ Q₅ Q₆ จะเป็น Bottom Drive ซึ่งจุดต่อของวงจรในส่วนของ G และ S จะสัมพันธ์กับภาพวงจรที่ 3-18 และในส่วนของ M_A M_B M_C ก็จะเป็นสายสัญญาณที่จ่ายกำลังไฟฟ้าให้กับมอเตอร์ การทำงานของวงจรนี้ MOSFET ระหว่าง Top Drive กับ Bottom Drive จะจับคู่กันทำงานเป็นคู่ๆ ซึ่งอาจจะเป็น Q₁ กับ Q₂ และ Q₁ กับ Q₆ หรือ Q₂ กับ Q₄ ซึ่งการจับคู่การทำงานก็จะไปทำตามสัญญาณของ เอนโคเดอร์ ที่รับเข้ามาเพื่อกำหนดจังหวะการทำงาน ซึ่งข้อห้ามของวงจรนี้คือ เพาเวอร์-มอสเฟต ในแถวเดียวกันจะทำงานพร้อมกันไม่ได้เพราะจะทำให้เกิดการลัดวงจรเสียหายได้

2.7 ออปแอมป์ (Op-Amp)

ออปแอมป์เป็นวงจรขยายแบบต่อตรง (Direct Coupled Amplifier) ที่มีการขยายสูงมาก ใช้การป้อนกลับแบบลบไปควบคุมการทำงาน ทำให้ผลการทำงานของวงจรไม่ขึ้นกับพารามิเตอร์ภายในของออปแอมป์ วงจรภายในประกอบด้วยวงจรขยายที่ต่อเนื่องกันภาคแรกคือวงจรดิฟเฟอเรนเชียล ด้านทางเข้าภาคที่สองวงจรเลื่อนระดับและวงจรขยายกำลังด้านทางออก สัญลักษณ์ที่ใช้แทนออปแอมป์จะเป็นรูปสามเหลี่ยม ไอซีออปแอมป์เป็นไอซีที่แตกต่างไปจากลิเนียร์ไอซีทั่วไปคือ ไอซีออปแอมป์มี

ขาอินพุต 2 ขาเรียกว่าขาเข้าไม่กลับเฟส(Non-Inverting Input) หรือขาบวกและขาเข้ากลับเฟส (Inverting Input) หรือขาลบ ส่วนทางด้านขาออกมีเพียงขาเดียวเมื่อสัญญาณป้อนขาเข้าไม่กลับเฟส สัญญาณทางออกจะมีเฟสตรงกับทางด้านเข้า แต่ถ้าป้อนสัญญาณเข้าที่ขาเข้ากลับเฟส สัญญาณทางออก จะมีเฟสต่างไป 180 องศาจากสัญญาณทางด้านเข้า



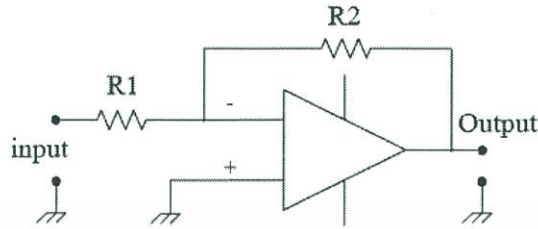
รูปที่ 2.33 แสดงสัญลักษณ์ออปแอมป์

คุณสมบัติของออปแอมป์ในทางอุดมคติ

- 1) อัตราขยายมีค่าสูงมากเป็นอนันต์ หรือ อินฟินิตี้
- 2) อินพุตอิมพีแดนซ์มีค่าสูงมากเป็นอนันต์
- 3) เอาต์พุตอิมพีแดนซ์มีค่าต่ำมากเท่ากับศูนย์
- 4) ความกว้างของแบนด์วิด (Bandwidth) ในการขยายสูงมาก
- 5) สามารถขยายสัญญาณได้ทั้งสัญญาณ AC และ DC
- 6) การทำงานไม่ขึ้นกับอุณหภูมิ

เมื่อศึกษาคุณสมบัติของออปแอมป์ในอุดมคติแล้วพบว่าออปแอมป์ได้รวมข้อดีของ วงจรขยายไว้อย่างครบถ้วนเนื่องจากมีอัตราขยายเป็นอนันต์และสามารถขยายสัญญาณได้ทั้งไฟฟ้า กระแสสลับและไฟฟ้ากระแสตรง การนำไปใช้งานในบางครั้งเมื่อต้องการลดอัตราการขยายก็สามารถ กระทำได้โดยการป้อนกลับ(Feed Back) เพื่อมาลดอัตราการขยายลงและข้อดีอีกประการหนึ่งก็คืออิมพี แคนซ์ทางอินพุตมีอิมพีแดนซ์สูงมากจึงทำให้เหมือนไม่มีกระแสอินพุตไหลเลยลักษณะเช่นนี้จึงทำให้วงจร ทางอินพุตไม่ไหลดวงจรส่งกำลังในส่วนหน้าเช่นเดียวกันที่เอาต์พุตมีอิมพีแดนซ์เป็นศูนย์กลางสามารถ นำไปเชื่อมต่อกับวงจรอื่นได้ดี

2.7.1 วงจรขยายแบบกลับเฟส (Inverting Amplifier)



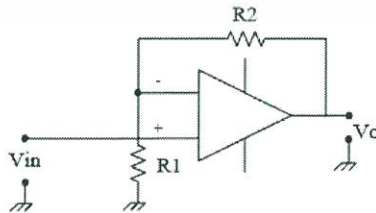
รูปที่ 2.34 วงจรขยายออปแอมป์แบบกลับเฟส (Inverting Amplifier)

ในวงจรขยายออปแอมป์นั้นสามารถที่จะกำหนดอัตราขยายของวงจรได้โดยการใช้วงจรเนกาทีฟฟีดแบ็ค (Negative Feedback) เมื่อเราป้อนสัญญาณเข้าทางขากลับกลับเฟส(ขาลบ) แรงดันด้านทางออกจะมีมุมเฟสต่างไปจากแรงดันทางด้านทางเข้า 180 องศา ซึ่งมีลักษณะตรงกันข้าม สัญญาณตรงกันข้ามนี้จะถูกป้อนกลับผ่าน R2 เข้ามายังขาอินเวอร์ตอีกครึ่งหนึ่งตรงจุดนี้จะทำให้สัญญาณเกิดการหักล้างกันอัตราขยายก็จะลดลง ถ้าตัวต้านทานที่เป็นตัวป้อนกลับมีค่ามาก จะทำให้สัญญาณป้อนกลับมีขนาดเล็ก อัตราขยายออกจึงสูง ถ้าตัวต้านทานที่ป้อนกลับมีค่าน้อยสัญญาณป้อนกลับไปได้มาอัตราขยายก็จะลดลง ฉะนั้นอัตราส่วนของความต้านทาน R1 และ R2 จะเป็นตัวกำหนดอัตราขยายของวงจรโดยไม่ขึ้นกับอัตราขยายของออปแอมป์

2.7.2 วงจรขยายแบบไม่กลับเฟส (Non-Inverting Amplifier)

วงจรขยายนี้เป็นวงจรขยายอีกแบบหนึ่งที่ต้องการเฟสในการขยายเป็นเฟสเดียวกัน ดังนั้นการป้อนสัญญาณอินพุตจึงต้องป้อนเข้าที่ขาอินพุตไม่กลับเฟส (บวก) ซึ่งเมื่อขยายออกที่เอาต์พุตแล้วจะได้สัญญาณเอาต์พุตที่มีเฟสเหมือนเดิม ดังนั้นในวงจรขยายแบบไม่กลับเฟสนี้การป้อนกลับเพื่อลดอัตราขยายจึงยังคงป้อนไปยังขาอินเวอร์ตติ้ง (ลบ) เพื่อให้เกิดการหักล้างของสัญญาณกันภายในตัวไอซีออปแอมป์ โดยสามารถหาอัตราขยายของวงจรได้จากสูตร

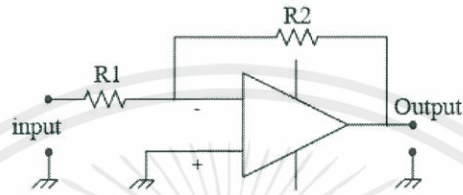
$$AV = \frac{R_2}{R_1} + 1 \quad (2.14)$$



รูปที่ 2.35 วงจรขยายออปแอมป์แบบไม่กลับเฟส (Non-Inverting Amplifier)

2.7.3 วงจรบัฟเฟอร์ (Buffer)

วงจรบัฟเฟอร์หรือวงจรกันชนเป็นวงจรที่ใช้เชื่อมวงจรสองวงจรเข้าด้วยกัน เช่น ระบบไอซีที่ต่างตระกูลกันหรือทรานซิสเตอร์ที่ไม่แมทซ์อิมพีแดนซ์กันคือวงจรที่จำเป็นต้องใช้บัฟเฟอร์เพราะคุณสมบัติของออปแอมป์ทางเอาต์พุตอิมพีแดนซ์ต่ำเมื่อเชื่อมต่อกับวงจรอื่นแล้วจะไม่ทำให้วงจรอื่นมีผลแตกต่างไปจากเดิมวงจรบัฟเฟอร์นั้นจะมีอัตราขยายเท่ากับ 1



รูปที่ 2.36 วงจรบัฟเฟอร์

บทที่ 3

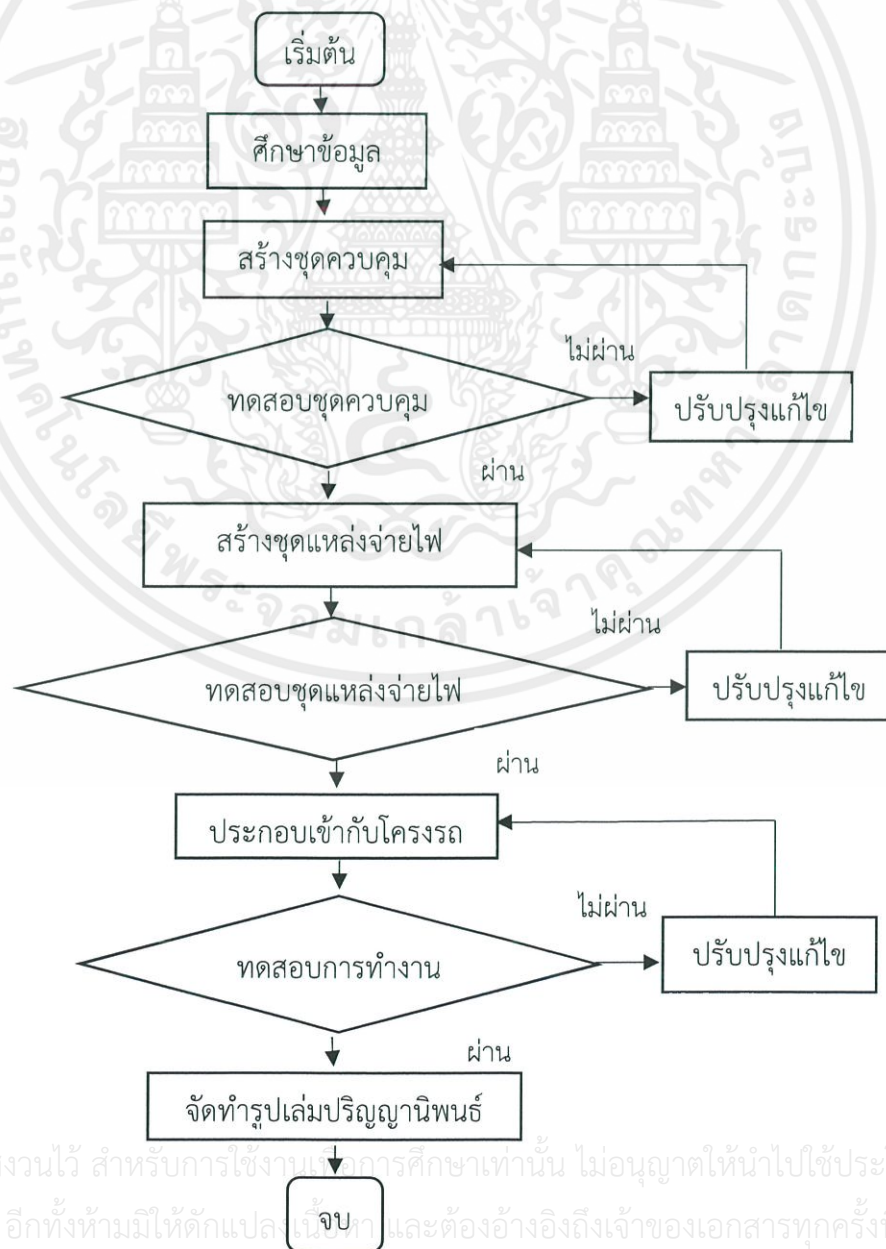
การทำงานของวงจรและการออกแบบพัฒนารถเซ็นไฟฟ้า

3.1 บทนำ

ในบทนี้จะเป็นการอธิบายหลักการทำงานและการออกแบบวงจรขับเคลื่อนมอเตอร์ไฟฟ้า กระแสตรงแบบไร้แปรงถ่าน วงจรแปลงผันกำลังไฟฟ้าโดยใช้มอสเฟตเป็นสวิตช์โดยสวิตช์ที่ความถี่ 10 kHz การควบคุมความเร็วของมอเตอร์ใช้ไอซีเบอร์ MC33033 ทำหน้าที่ปรับความกว้างของสัญญาณขับ นำสวิตช์ในวงจรแปลงผันกำลังไฟฟ้าให้สอดคล้องกับการบิดคันเร่งและสัญญาณตำแหน่งของมอเตอร์จาก เอนโคด และการออกแบบรถเซ็นไฟฟ้าที่สามารถปรับความเร็วและควบคุมทิศทางด้วยมือ

3.2 ขั้นตอนกระบวนการสร้างรถเซ็นไฟฟ้า

ขั้นตอนกระบวนการสร้างรถเซ็นไฟฟ้ากระแสตรงแบบไร้แปรงถ่าน(Brushless DC Motor) มีขั้นตอนและการดำเนินงานตามแผนผังแสดงขั้นตอนการทำงาน(Flow Chart)



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษานั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

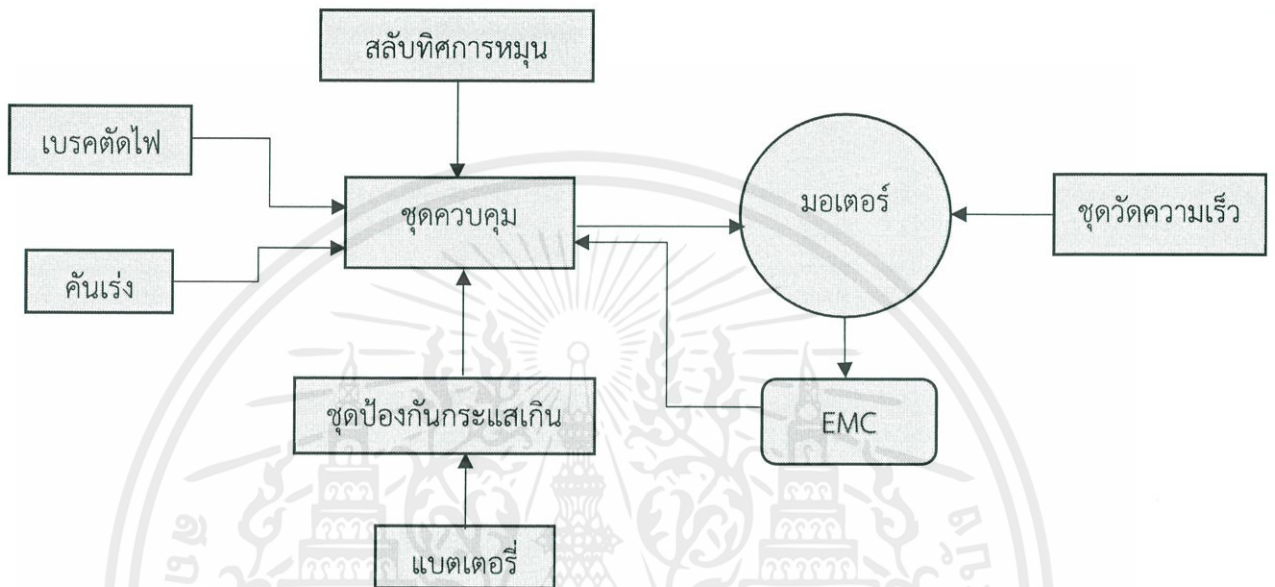
3.3 ศึกษาข้อมูลที่เกี่ยวข้อง

จากการการค้นหาและศึกษาเกี่ยวกับการออกแบบและสร้างรถเซ็นไฟฟ้าสำหรับผู้พิการ หรือผู้สูงอายุด้วยมอเตอร์กระแสตรงแบบไม่ใช้แปรงถ่าน (Brushless DC Motor) พบว่ามีข้อดีมากกว่า เมื่อเทียบกับมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบใช้แปรงถ่าน ที่จะมีความร้อนและการสึกหรอของแปรงถ่านสูง และการจ่ายกระแสได้น้อยตามหน้าสัมผัสของแปรงถ่าน การบำรุงรักษาก็ทำได้ยากกว่า และมอเตอร์กระแสตรงแบบไม่ใช้แปรงถ่านมีการสลับการทำงานของชุดขดลวดได้อย่างแม่นยำทำให้มีประสิทธิภาพ ดีกว่ามอเตอร์กระแสตรงแบบใช้แปรงถ่าน และมีกำลังและแรงบิดสูงทำให้รถเซ็นไฟฟ้าสามารถขึ้นทางลาดชันได้ โดยสามารถใช้ข้อมูลจากตาราง 3.1 ในการพิจารณาเลือกใช้มอเตอร์กระแสตรงแบบไร้แปรงถ่าน แทนการใช้มอเตอร์กระแสตรงแบบมีแปรงถ่าน

ตารางที่ 3.1 ตารางเปรียบเทียบคุณสมบัติระหว่างมอเตอร์กระแสตรงแบบมีแปรงถ่านกับ มอเตอร์กระแสตรงแบบไร้แปรงถ่าน

Feature	BLDC Motor	Brushed DC Motor	Actual Advantage
Commutation	Electronic commutation based on rotor position information	Mechanical brushes and commutator	Electronic switches replace the mechanical devices
Efficiency	High	Moderate	Voltage drop on electronic device is smaller than that on brushes
Maintenance	Little/None	Periodic	No brushes/commutator maintenance.
Thermal performance	Better	Poor	Only the armature windings generate heat, which is the stator and is connected to the outside case of the BLDC.; The case dissipates heat better than a rotor located inside of brushed DC motor.
Output Power/ Frame Size (Ratio)	High	Moderate/Low	Modern permanent magnet and no rotor losses.
Speed/Torque Characteristics	Flat	Moderately flat	No brush friction to reduce useful torque.
Dynamic Response	Fast	Slow	Lower rotor inertia because of permanent magnets.
Speed Range	High	Low	No mechanical limitation imposed by brushes or commutator
Electric Noise	Low	High	No arcs from brushes to generate noise, causing EMI problems.
Lifetime	Long	Short	No brushes and commutator

จากที่กล่าวมามอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบไม่ใช้แปรงถ่านจะให้แรงบิดที่สูงกว่าและมีความทนทานมากกว่ามอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบที่มีแปรงถ่าน ดังนั้นผู้จัดทำจึงได้มีแนวความคิดที่จะสร้างรถเซ็นไฟฟ้าสำหรับคนพิการและผู้สูงอายุสามารถเขียนเป็นแผนผังแสดงการทำงานดังรูป 3.1

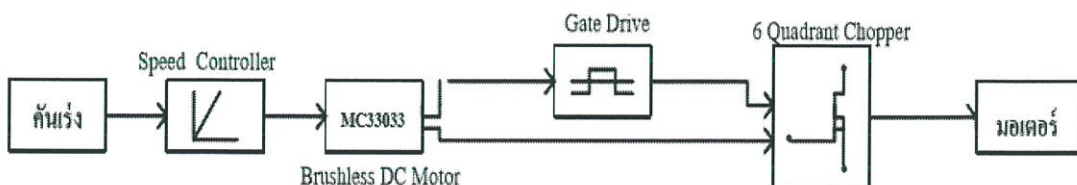


รูปที่ 3.1 แผนผังแสดงการทำงาน

เมื่อทำการบิดคันเร่งจะทำให้มีคำสั่งความเร็วส่งไปที่ชุดควบคุมโดยใช้ไอซีหมายเลข MC33033 ซึ่งอาศัยหลักการตรวจสอบตำแหน่งโรเตอร์เป็นมุมแล้วจึงได้สร้างสนามแม่เหล็กที่เกิดขึ้นบนสเตเตอร์ให้เกิดความสัมพันธ์ระหว่างกันทำให้มอเตอร์หมุนและชุดวัดความเร็วแสดงผลความเร็วของรถเซ็นไฟฟ้า

3.4 การสร้างชุดควบคุมมอเตอร์

ในโครงการนี้ได้ใช้มอเตอร์กระแสตรงแบบไม่ใช้แปรงถ่าน (Brushless DC Motor) ขนาด 24V 250W ดังรูปที่ 3.3 ซึ่งมอเตอร์ชนิดนี้มีความเร็วรอบคงที่และเงียบจึงเหมาะสมที่จะนำมาใช้ งานกับรถเซ็นไฟฟ้าสำหรับคนพิการและผู้สูงอายุซึ่งมอเตอร์ชนิดนี้จะมี encoder 3 เส้นคือ SA SB SC และมีผังระบอบดังนี้



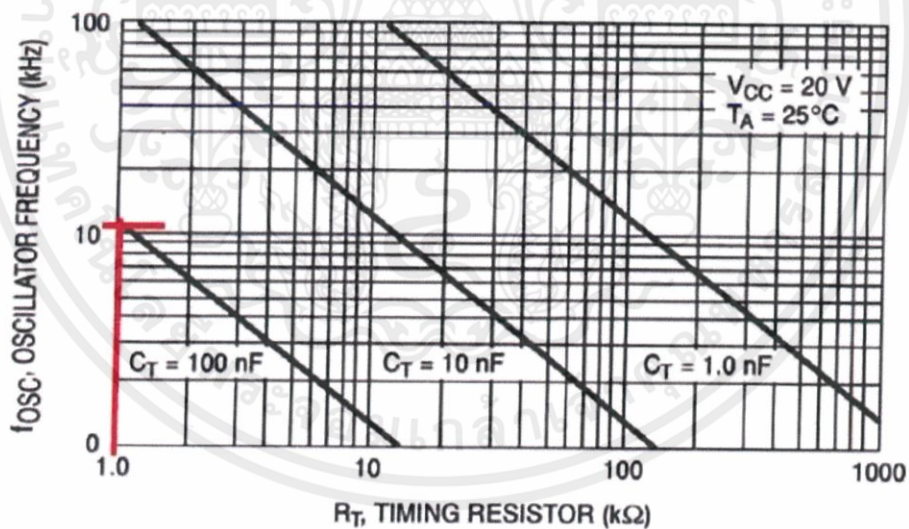
รูปที่ 3.2 ผังแสดงชุดควบคุมมอเตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



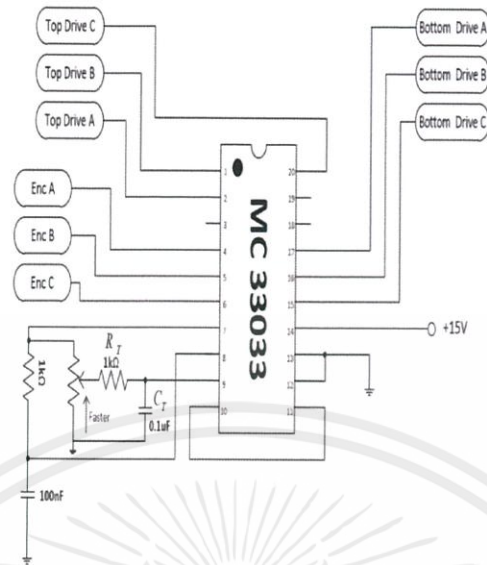
รูปที่ 3.3 มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบไม่ใช้แปรงถ่าน (Brushless DC Motor)

โครงการนี้เลือกใช้ไอซีหมายเลข MC33033 ซึ่งไอซีหมายเลข MC33033 จะรับสัญญาณจาก encoder และนำไปสร้างสัญญาณเพื่อที่จะควบคุมมอเตอร์ไอซีหมายเลข MC33033 สามารถปรับสัญญาณ PWM เพื่อควบคุมความเร็วของมอเตอร์ได้สามารถควบคุมความถี่โดยการเลือกใช้ R และ C ดังรูปที่ 3.4 และการต่อไอซีดังรูป 3.5

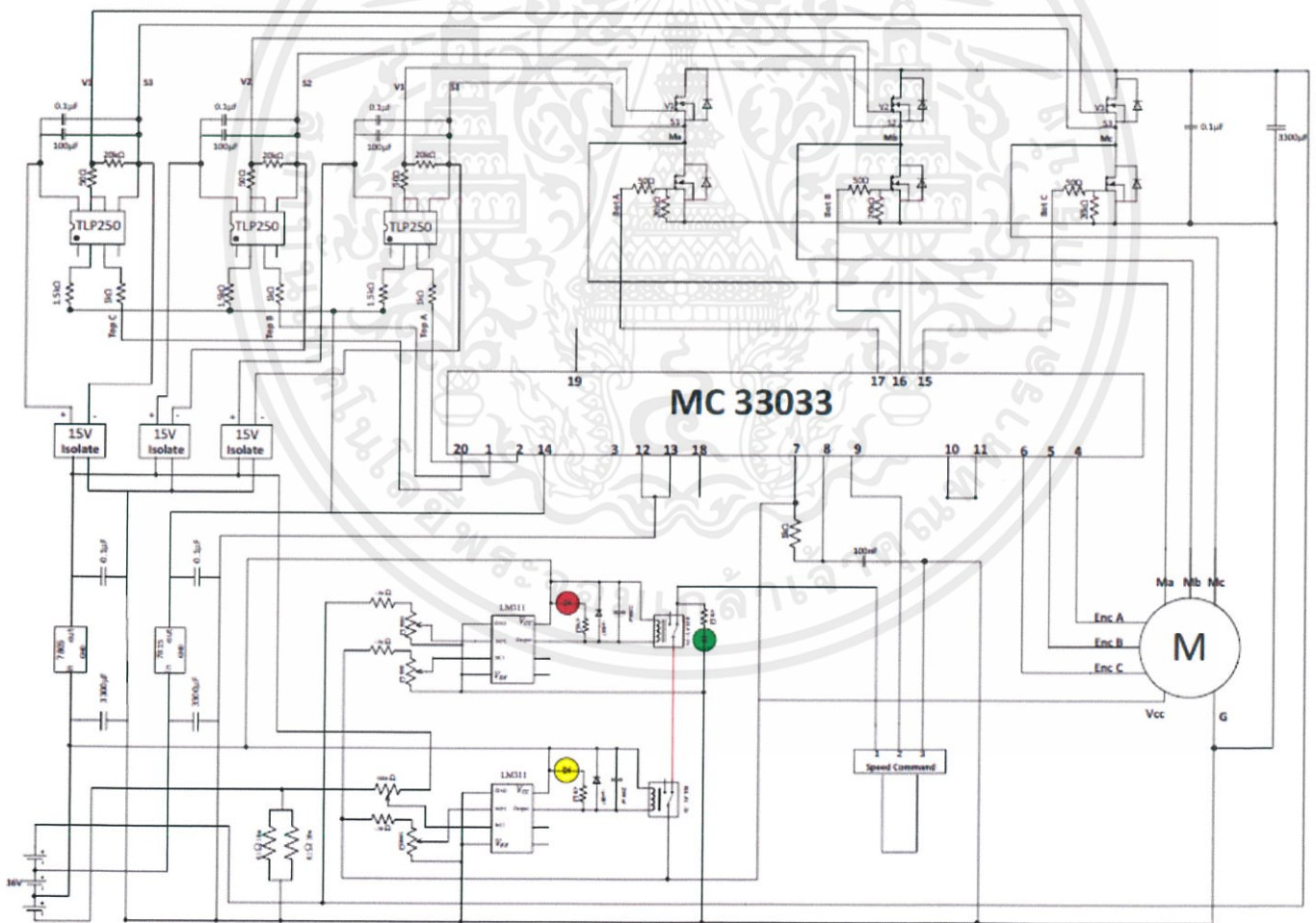


รูปที่ 3.4 กราฟแสดงความสัมพันธ์ในการเลือกค่า R และ C

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.5 วงจรสัญญาณควบคุมโดยใช้ไอซีหมายเลข MC33033

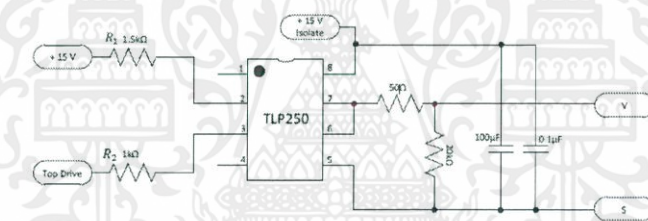


รูปที่ 3.6 วงจรควบคุมรถเข็นไฟฟ้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.5 การสร้างวงจรชุดขับสวิตช์

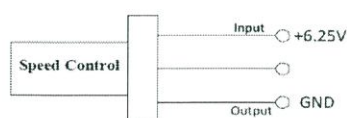
สำหรับวงจรชุดขับสวิตช์นั้นสามารถทำได้โดยการควบคุมการทำงานของมอสเฟตผ่าน ไอซี TLP250 โดยการส่งสัญญาณที่ถูกมอดูเลตไปยังวงจรสร้างสัญญาณนำสวิตช์ ในส่วนลักษณะของวงจร จะประกอบด้วยสัญญาณอินพุตจาก TOP Drive นั้นจะถูกต่อเข้ากับขาของไอซีเบอร์ MC3303 และตัวต้านทาน(R2)จะถูกต่อแบบอนุกรมเข้ากับขาที่ 3 ของไอซี TLP250 ส่วนตัวต้านทาน(R1)จะถูกต่อเข้ากับ แหล่งจ่ายไฟกระแสตรงขนาด 15V เพื่อควบคุมกระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านออปโตคัปเปอร์ในไอซี TLP250 ให้ทำงานตามสัญญาณอินพุตจาก TOP Drive ซึ่งเมื่อสัญญาณนี้ถูกส่งไปไบอัสให้แอลอีดีในไอซี TLP250 แล้วจะทำให้ทรานซิสเตอร์ชนิดNPN ทางด้านเอาต์พุตของไอซีTLP250 นำกระแสส่งผลให้แรงดันที่ขา6 ของไอซีTLP250 มีแรงดัน V_{GS} มีค่าเป็นบวกสามารถทำให้มอสเฟตนำกระแสได้ ส่วนในกรณีที่แรงดัน อินพุตน้อยกว่า0.7V แอลอีดีภายในไอซี TLP250 จะหยุดนำกระแสซึ่งส่งผลให้ทรานซิสเตอร์ชนิดNPN ทางด้านเอาต์พุตของไอซี TLP250 หยุดนำกระแสเช่นเดียวกันแต่ทรานซิสเตอร์ชนิดPNP จะนำกระแส แทนส่งผลให้ที่สภาวะนี้แรงดันไฟฟ้าที่ ขา6 ของไอซี TLP250มีแรงดัน V_{GS} มีค่าเป็น0V ก็จะทำให้มอส เฟตหยุดนำกระแส



รูปที่ 3.7 วงจรชุดขับสวิตช์

3.6 การสร้างชุดคันเร่ง

โดยปกติแล้วคันเร่งสำหรับรถไฟฟ้าทั่วไปนั้นจะสามารถปรับหรือลดแรงดันได้แบบวอลุ่มที่แรงดันตั้งแต่ 0 – 6.25 โวลต์ แต่สำหรับคันเร่งของรถเซ็นไฟฟ้านี้จะปรับเร่งหรือลดความเร็วโดยการควบคุมแรงดันผ่าน Hall sensor หรือ เซ็นเซอร์สนามแม่เหล็กเนื่องจาก Hall sensor นั้นมีความคงทนและแม่นยำสูง ซึ่ง Hall sensor จะมีลักษณะเหมือนกับทรานซิสเตอร์ 3 ขา โดยมี ขาไฟเลี้ยง 5 V ขากราวด์ และขาไฟเอาต์พุต ซึ่งเมื่อเราทำการบิดคันเร่งแล้วจะทำให้เกิดสนามแม่เหล็กเหนื่อใต้ที่มีทิศทางต่างกันและเมื่อสนามแม่เหล็กดังกล่าวถูก Hall sensor ตรวจจับก็จะถูก Hall sensor แปลผันสัญญาณเป็นแรงดันไฟฟ้าที่ถูกส่งไปให้ชุดควบคุมเพื่อกำหนดความเร็วของรถเซ็นไฟฟ้า

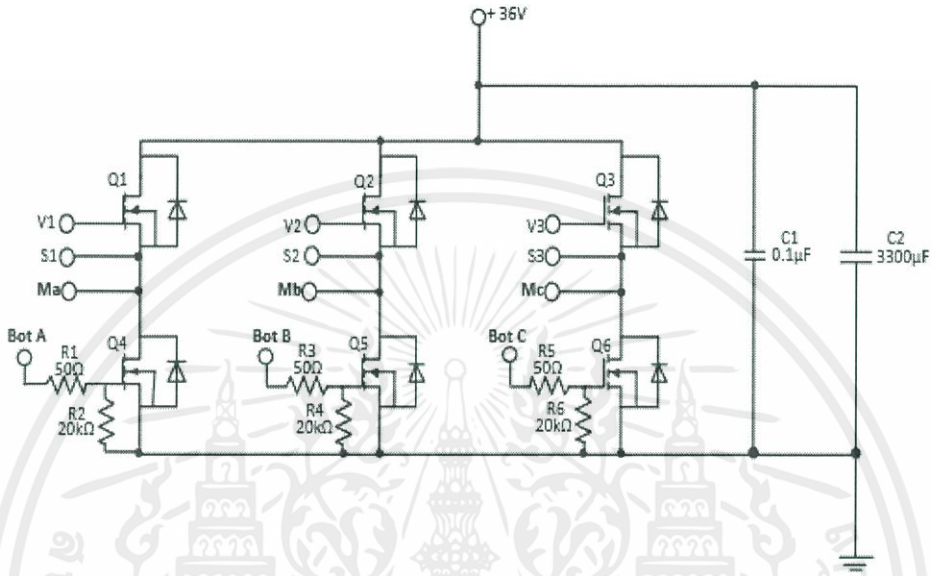


รูปที่ 3.8 คันเร่งรถเซ็นไฟฟ้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.7 วงจรควบคุมกำลังไฟฟ้า

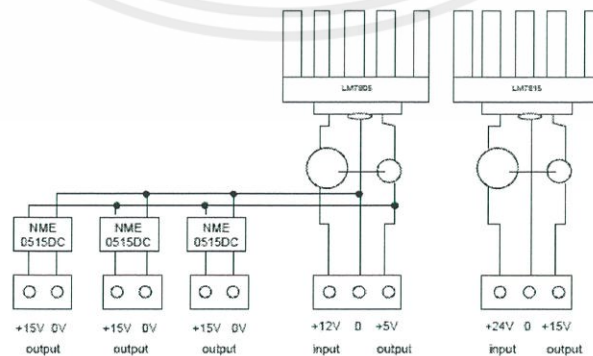
วงจรรภาคกำลังที่ใช้คือวงจรแบบบริดจ์ 3 เฟสจำนวน 1 ชุดซึ่งประกอบไปด้วยเพาเวอร์มอสเฟตจำนวน 6 ซึ่งจากการคำนวณในบทที่ 2 หน้าที่ 31 จึงเลือกใช้มอสเฟตกำลังเบอร์ IRF3205 เพราะมีค่า $V_{DS} = 80V$, $R_{DS(ON)} = 8.0m\Omega$, $I_D = 110A$



รูปที่ 3.9 วงจรรภาคกำลัง

3.8 วงจรแหล่งจ่ายไฟ

วงจรถ่ายไฟได้ถูกออกแบบให้สามารถจ่ายไฟที่แรงดันแตกต่างกันได้เนื่องจากการทำงานของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบไร้แปรงถ่านนั้นจะมึการทำงานอยู่ 3 ชุดซึ่งแต่ละชุดมีระดับแรงดันที่ต้องการที่แตกต่างกันดังนี้ แหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรง 5V เลือกใช้ไอซีเบอร์ 7805 ซึ่งเป็นไอซีเรกูเลเตอร์ แหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรง 15V เลือกใช้ไอซีเบอร์ 7815 ซึ่งเป็นไอซีเรกูเลเตอร์เช่นเดียวกัน แหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรง 15V ที่จ่ายให้อาาร์ทพุทของวงจรถัดขั้วสวิตซ์เลือกใช้ไอซีเบอร์ NME0515DC ซึ่งเป็นไอซี DC/DC Converter ใช้งานง่ายและให้แรงดันไฟฟ้าคงที่



รูปที่ 3.10 วงจรแหล่งจ่ายไฟ

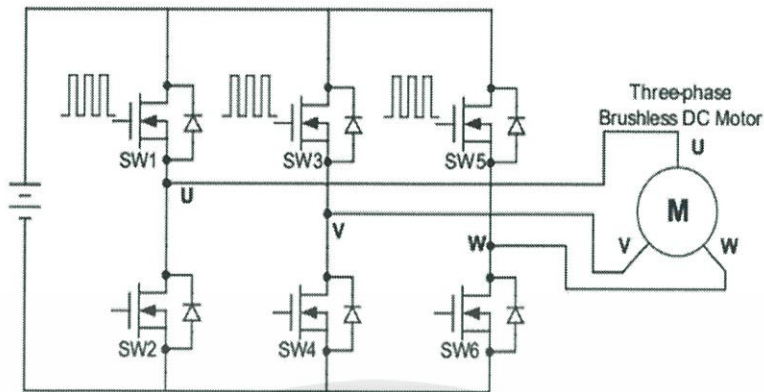
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.9 การทำงานของวงจรควบคุม

การทำงานของมอเตอร์แบบมีแปรงถ่านจะทำงานง่าย ๆ คือมีแปรงถ่านเป็นตัวคอยสับเปลี่ยนการจ่ายกระแสไฟฟ้าให้กับขดลวดเพื่อสร้างสนามแม่เหล็กที่เหมาะสมซึ่งมอเตอร์ชนิดนี้จึงมีสายเพียง 2 เส้นเท่านั้นแต่ในมอเตอร์กระแสตรงแบบไร้แปรงถ่านจะมีขดลวดอยู่ 3 ชุดและจะทำงานครั้งละ 2 ชุดสับเปลี่ยนกันเพื่อสร้างสนามแม่เหล็กที่เหมาะสมจะเห็นได้ว่ามอเตอร์กระแสตรงแบบไร้แปรงถ่านจะมีสายจำนวน 3 เส้น โดยการสับเปลี่ยนการทำงานของชุดขดลวดถูกควบคุมด้วยวงจรบริดจ์สามเฟส มีมอสเฟต 6 ตัวเป็นตัวทำหน้าที่ในการสับสวิตช์ โดยการสับสวิตช์ของมอสเฟตแต่ละตัวจะถูกควบคุมด้วยตัวถอดรหัส(Encoder) ที่รับค่ามาจาก ฮอลล์เซนเซอร์ โดยเมื่อตำแหน่งมุมทางไฟฟ้าของมอเตอร์เปลี่ยนไป ฮอลล์เซนเซอร์จะทำการตรวจจับแล้วถอดรหัสส่งไปควบคุมการทำงานของมอสเฟตแต่ละตัวตามตารางที่ 3.2 และมีการต่อวงจรบริดจ์สามเฟสกับมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบไร้แปรงถ่านตามรูปที่ 3.10

ตารางที่ 3.2 ตารางแสดงการทำงานของฮอลล์เซนเซอร์ที่ตำแหน่งทางไฟฟ้าต่างๆ

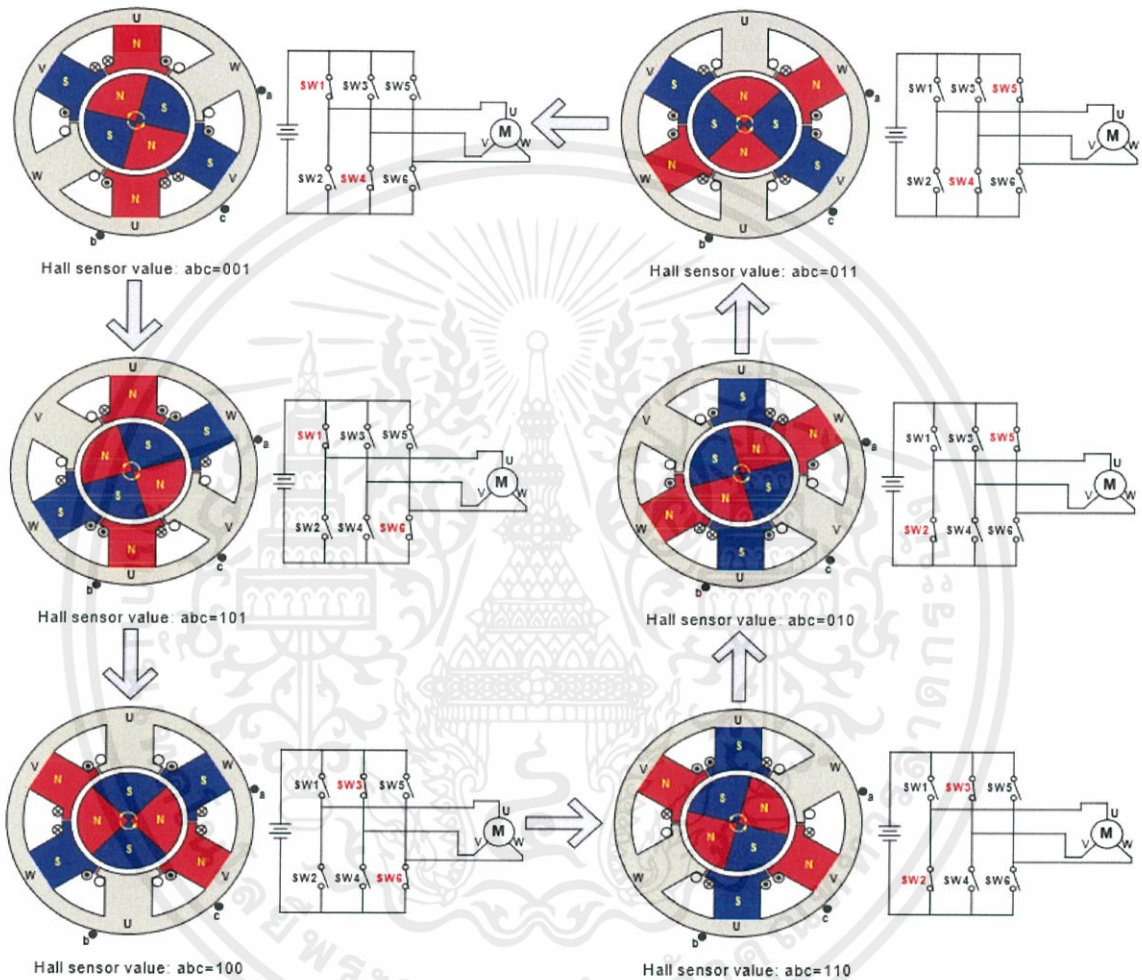
Electrical angle	Hall sensor			Phase current			Switch closed	
	H1	H2	H3	Ia	Ib	Ic		
0°-60°	0	0	1	+	-	off	sw1	sw4
60°-120°	1	0	1	+	off	-	sw1	sw6
120°-180°	1	0	0	off	+	-	sw3	sw6
180°-240°	1	1	0	-	+	off	sw3	sw2
240°-300°	0	1	0	-	off	+	sw5	sw2
300°-360°	0	1	1	off	-	+	sw5	sw4



รูปที่ 3.11 การต่อวงจรบริดจ์สามเฟสกับมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบไร้แปรงถ่าน

เมื่อมอเตอร์หมุนไปที่มุมต่างๆ ตัวถอดรหัส (Encoder) จะทำการถอดรหัสแล้วส่งสัญญาณไปควบคุมให้สวิตช์ทำงาน โดยเริ่มต้นที่มุม 0-60 องศาทางไฟฟ้า ตัวถอดรหัสจะถอดรหัสเป็นเลข 001 ส่งไปให้วงจรควบคุมจะทำการสั่งให้มอสเฟตตัวที่ 1 และ 4 ทำงานส่งผลให้กระแสไฟบวกเข้าไปที่ขั้วลวดเฟส U และกระแสไฟลบเข้าไปยังเฟส V ส่วนเฟส W ไม่มีไฟเข้าทำให้เกิดการสร้างสนามแม่เหล็กขึ้นที่ขั้วลวดเฟส U และ V จากนั้นโรเตอร์จะเกิดการดึงดูดทางแม่เหล็กทำให้มอเตอร์หมุน เมื่อหมุนไปได้ที่มุม 60-120 องศาทางไฟฟ้า ตัวถอดรหัสจะถอดรหัสเป็นเลข 101 ส่งไปให้วงจรควบคุมจะทำการสั่งให้มอสเฟตตัวที่ 1 และ 6 ทำงานส่งผลให้กระแสไฟบวกเข้าไปที่ขั้วลวดเฟส U และกระแสไฟลบเข้าไปยังเฟส W ส่วนเฟส V ไม่มีไฟเข้าทำให้เกิดการสร้างสนามแม่เหล็กขึ้นที่ขั้วลวดเฟส U และ W จากนั้นโรเตอร์จะเกิดการดึงดูดทางแม่เหล็กทำให้มอเตอร์หมุน เมื่อหมุนไปได้ที่มุม 120-180 องศาทางไฟฟ้า ตัวถอดรหัสจะถอดรหัสเป็นเลข 100 ส่งไปให้วงจรควบคุมจะทำการสั่งให้มอสเฟตตัวที่ 3 และ 6 ทำงานส่งผลให้กระแสไฟบวกเข้าไปที่ขั้วลวดเฟส V และกระแสไฟลบเข้าไปยังเฟส W ส่วนเฟส U ไม่มีไฟเข้าทำให้เกิดการสร้างสนามแม่เหล็กขึ้นที่ขั้วลวดเฟส V และ W จากนั้นโรเตอร์จะเกิดการดึงดูดทางแม่เหล็กทำให้มอเตอร์หมุน เมื่อหมุนไปได้ที่มุม 180-240 องศาทางไฟฟ้า ตัวถอดรหัสจะถอดรหัสเป็นเลข 110 ส่งไปให้วงจรควบคุมจะทำการสั่งให้มอสเฟตตัวที่ 3 และ 2 ทำงานส่งผลให้กระแสไฟบวกเข้าไปที่ขั้วลวดเฟส V และกระแสไฟลบเข้าไปยังเฟส U ส่วนเฟส W ไม่มีไฟเข้าทำให้เกิดการสร้างสนามแม่เหล็กขึ้นที่ขั้วลวดเฟส V และ U จากนั้นโรเตอร์จะเกิดการดึงดูดทางแม่เหล็กทำให้มอเตอร์หมุน เมื่อหมุนไปได้ที่มุม 240-300 องศาทางไฟฟ้า ตัวถอดรหัสจะถอดรหัสเป็นเลข 010 ส่งไปให้วงจรควบคุมจะทำการสั่งให้มอสเฟตตัวที่ 5 และ 2 ทำงานส่งผลให้กระแสไฟบวกเข้าไปที่ขั้วลวดเฟส W และกระแสไฟลบเข้าไปยังเฟส U ส่วนเฟส V ไม่มีไฟเข้าทำให้เกิดการสร้างสนามแม่เหล็กขึ้นที่ขั้วลวดเฟส W และ U จากนั้นโรเตอร์จะเกิดการดึงดูดทางแม่เหล็กทำให้มอเตอร์หมุน เมื่อหมุนไปได้ที่มุม 300-360 องศาทางไฟฟ้า ตัวถอดรหัสจะถอดรหัสเป็นเลข 011 ส่งไปให้วงจรควบคุมจะทำการสั่งให้มอสเฟตตัวที่ 5 และ 4 ทำงานส่งผลให้กระแสไฟบวกเข้าไปที่ขั้วลวดเฟส W และกระแสไฟลบเข้าไปยังเฟส V ส่วนเฟส U ไม่มีไฟเข้าทำให้เกิดการสร้างสนามแม่เหล็ก

ขั้นที่ขดลวดเฟส W และ V จากนั้นโรเตอร์จะเกิดการดึงดูดทางแม่เหล็กทำให้มอเตอร์หมุนกลับมาที่ตำแหน่ง 0-60 องศาทางไฟฟ้าและทำงานแบบเดิมซ้ำไปเรื่อยๆจนมีการหยุดจ่ายไฟฟ้าให้กับวงจรควบคุมด้วยการเบรก โดยการทำงานของบริดจ์สามเฟสตามรูปที่ 3.11



รูปที่ 3.12 การทำงานของวงจรบริดจ์สามเฟส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

การทดลองและผลการทดลอง

จากหลักการและทฤษฎีข้างต้นที่ได้นำเสนอมาได้ทำการศึกษาและออกแบบรถเข็นไฟฟ้าได้ทำการบันทึกผลการทดลองต่างๆ ดังนี้

4.1 ลักษณะของรถจักรยานไฟฟ้า

ลักษณะของรถจักรยานไฟฟ้าแบ่งออกเป็น 2 ส่วน ดังนี้

4.1.1 คุณสมบัติของรถจักรยาน

- 1) สามารถถอดแยกชุดขับเคลื่อนกับตัวรถเข็นได้
- 2) น้ำหนักโดยรวมของรถเข็นไฟฟ้าทั้งหมดประมาณ 20 กิโลกรัม

4.1.2 คุณสมบัติของชุดขับเคลื่อน

- 1) มีแหล่งจ่ายพลังงานไฟฟ้าจากแบตเตอรี่ขนาด 24 โวลต์/30 Ah จำนวน 1 ลูก
- 2) สามารถทำความเร็วสูงสุด 20 กิโลเมตร/ชั่วโมงที่น้ำหนักบรรทุก 40 กิโลกรัม

4.2 ค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ที่ได้จากการทดลองมอเตอร์ สภาวะ No-Load (ทำการทดลองทั้งสิ้น 3 ครั้ง)

ตารางที่ 4.1 การทดลองมอเตอร์ สภาวะ No-Load (ทำการทดลองทั้งสิ้น 3 ครั้ง)

ครั้งที่	แรงดัน (V)	กระแส (I)	ความเร็วรอบ (rpm)
1	24.2	1.05	300
2	24.1	1.07	301
3	24.2	1.04	302

4.3 ค่าพารามิเตอร์ต่างๆที่ได้จากการทดลองมอเตอร์สภาวะ On-Load (ทำการทดลองทั้งสิ้น 3 ระยะ)

ผู้จัดทำปริญญาานิพนธ์ฉบับนี้ได้ทำการทดลองขับเคลื่อนรถเข็นไฟฟ้าที่ระยะทางแตกต่างกันทั้งสิ้น 3 ระยะทางและรถเข็นมีโหลดเป็นผู้ขับทั้งสิ้น 7 คนซึ่งมีน้ำหนักแตกต่างกันตั้งแต่ 40 กิโลกรัมไปจนถึง 100 กิโลกรัมและได้ทำการทดสอบทั้งพื้นราบและพื้นเอียงดังนี้

4.3.1 ค่าพารามิเตอร์ต่างๆที่ได้จากการทดลองมอเตอร์สภาวะ On-Load บนพื้นราบ

4.3.1.1 ค่าพารามิเตอร์ต่างๆที่ได้จากการทดลองมอเตอร์สภาวะ On-Load ที่ระยะทาง 20 เมตร

ตารางที่ 4.2 ผลการทดสอบขับเคลื่อนรถเข็นไฟฟ้าแบบเดินหน้าโดยการออกตัวจากจุดหยุดนิ่งที่ระยะทาง 20 เมตร

ลำดับ	น้ำหนัก (กิโลกรัม)	เวลาที่ใช้ในการ เคลื่อนที่(วินาที)	ความเร็ว (m/s)	ความเร็วรอบ มอเตอร์(rpm)	กระแส (A)
1	40	7.05	5.67	270.90	9.14
2	50	7.73	5.17	247.07	9.32
3	60	8.81	4.54	216.78	9.51
4	70	9.98	4.01	191.37	9.75
5	80	11.56	3.46	165.21	10.31
6	90	13.15	3.04	145.24	10.80
7	100	15.06	2.66	126.82	11.42

จากตารางแสดงการทดสอบ ทำการทดสอบโดยการเคลื่อนที่ออกตัวการบิดคันเร่งสูงสุด ในระยะทาง 20 เมตรโดยทำการเคลื่อนที่แบบเดินหน้า ที่น้ำหนัก 40-100 กิโลกรัม โดยเริ่มจับเวลาจากจุดเริ่มต้นที่หยุดนิ่งและหยุดจับเวลาเมื่อรถจักรยานไฟฟ้าเคลื่อนที่ถึงระยะทาง 20 เมตร ได้ผลการทดสอบ ดังนี้ รถเข็นไฟฟ้าสามารถทำความเร็วสูงสุดที่ระยะทาง 20 เมตรได้ที่ 5.67 เมตร/วินาทีแบบเดินหน้าด้วยน้ำหนัก 40 กิโลกรัมและสามารถทำความเร็วเฉลี่ยได้ที่ 3.82 เมตร/วินาที ซึ่งความเร็วเฉลี่ยสามารถหาได้จากการคำนวณเวลาที่ใช้ในการเคลื่อนที่(วินาที)เทียบกับระยะทาง(เมตร) รถเข็นไฟฟ้ากินกระแสขณะเคลื่อนที่เฉลี่ย 10.04 แอมแปร์และความเร็วรอบเฉลี่ย 182.29 รอบต่อนาที ซึ่งจะเห็นได้ว่าหากรถเข็นไฟฟ้าบรรทุกน้ำหนักมากขึ้นหรือรับโหลดที่เพิ่มขึ้นรถเข็นไฟฟ้าก็จะกินกระแสเพิ่มมากขึ้นตามน้ำหนักที่บรรทุกหรือโหลดที่เพิ่มขึ้นส่งผลให้เวลาที่ใช้ในการเคลื่อนที่เพิ่มมากขึ้นด้วยแต่กลับกันเมื่อน้ำหนักบรรทุกมากจะทำให้ความเร็วและความเร็วรอบมอเตอร์ลดน้อยลง

ตารางที่ 4.3 ผลการทดสอบขับเคลื่อนรถเข็นไฟฟ้าแบบถอยหลังโดยการออกตัวจากจุดหยุดนิ่งที่ระยะทาง 20 เมตร

ลำดับ	น้ำหนัก (กิโลกรัม)	เวลาที่ใช้ในการ เคลื่อนที่ (วินาที)	ความเร็ว (m/s)	ความเร็วรอบ มอเตอร์(rpm)	กระแส (A)
1	40	12.87	3.11	148.40	2.99
2	50	13.56	2.95	140.85	3.28
3	60	15.17	2.64	125.90	3.60
4	70	16.58	2.41	115.19	3.96
5	80	17.79	2.25	107.36	4.66
6	90	19.11	2.09	99.94	5.19
7	100	20.42	1.96	93.53	5.90

จากตารางแสดงการทดสอบ ทำการทดสอบโดยการเคลื่อนที่ออกตัวการบิดคันเร่งสูงสุด ในระยะทาง 20 เมตรโดยทำการเคลื่อนที่แบบถอยหลัง ที่น้ำหนัก 40-100 กิโลกรัม โดยเริ่มจับเวลาจากจุดเริ่มต้นที่หยุดนิ่งและหยุดจับเวลาเมื่อรถจักรยานไฟฟ้าเคลื่อนที่ถึงระยะทาง 20 เมตร ได้ผลการทดสอบ ดังนี้รถเข็นไฟฟ้าสามารถทำความเร็วสูงสุดที่ระยะทาง 20 เมตรแบบถอยหลังได้ที่ 3.11 เมตร/วินาที ด้วยน้ำหนัก 40 กิโลกรัมและสามารถทำความเร็วเฉลี่ยได้ที่ 2.42 เมตร/วินาที ซึ่งความเร็วเฉลี่ยสามารถหาได้จากการคำนวณเวลาที่ใช้ในการเคลื่อนที่(วินาที)เทียบกับระยะทาง(เมตร) รถเข็นไฟฟ้ากินกระแสขณะเคลื่อนที่เฉลี่ย 4.23 แอมแปร์และความเร็วรอบเฉลี่ย 115.75 รอบต่อนาที ซึ่งจะเห็นได้ว่าหากรถเข็นไฟฟ้าบรรทุกน้ำหนักมากขึ้นหรือรับโหลดที่เพิ่มขึ้นรถเข็นไฟฟ้าก็จะกินกระแสเพิ่มมากขึ้นตามน้ำหนักที่บรรทุกหรือโหลดที่เพิ่มขึ้นส่งผลให้เวลาที่ใช้ในการเคลื่อนที่เพิ่มมากขึ้นด้วยแต่กลับกันเมื่อน้ำหนักบรรทุกมากจะทำให้ความเร็วและความเร็วรอบมอเตอร์ลดน้อยลง โดยจะพบว่าผลการเคลื่อนที่แบบถอยหลังจะมีความเร็วและความเร็วรอบต่ำกว่าการเคลื่อนที่แบบเดินหน้าเนื่องจากการเคลื่อนที่แบบถอยหลังต้องคำนึงถึงความปลอดภัย ดังนั้นความเร็วที่ได้และความเร็วรอบจะต้องมีค่าลดลง ส่งผลให้รถเข็นไฟฟ้ากินกระแสขณะเคลื่อนที่ลดลงด้วย

4.3.1.2 ค่าพารามิเตอร์ต่างๆที่ได้จากการทดลองมอเตอร์สภาพ On-Load ที่ระยะทาง 40 เมตร ตารางที่ 4.4 ผลการทดสอบขับเคลื่อนรถเข็นไฟฟ้าแบบเดินหน้าโดยการออกตัวจากจุดหยุดนิ่งที่ระยะทาง 40 เมตร

ลำดับ	น้ำหนัก (กิโลกรัม)	เวลาที่ใช้ในการ เคลื่อนที่ (วินาที)	ความเร็ว (m/s)	ความเร็วรอบ มอเตอร์(rpm)	กระแส (A)
1	40	14.58	5.49	261.99	7.68
2	50	15.05	5.32	253.81	8.32
3	60	16.81	4.76	227.23	9.08
4	70	18.70	4.28	204.27	9.92
5	80	22.45	3.56	170.15	10.45
6	90	26.69	3.00	143.12	10.91
7	100	29.09	2.75	131.31	11.58

จากตารางแสดงการทดสอบ ทำการทดสอบโดยการเคลื่อนที่ออกตัวการบิดคันเร่งสูงสุด ในระยะทาง 40 เมตรโดยทำการเคลื่อนที่แบบเดินหน้า ที่น้ำหนัก 40-100 กิโลกรัม โดยเริ่มจับเวลาจากจุดเริ่มต้นที่หยุดนิ่งและหยุดจับเวลาเมื่อรถจักรยานไฟฟ้าเคลื่อนที่ถึงระยะทาง 40 เมตร ได้ผลการทดสอบดังนี้รถเข็นไฟฟ้าสามารถทำความเร็วสูงสุดที่ระยะทาง 40 เมตรได้ที่ 5.49 เมตร/วินาทีแบบเดินหน้า ด้วยน้ำหนัก 40 กิโลกรัมและสามารถทำความเร็วเฉลี่ยได้ที่ 3.91 เมตร/วินาที ซึ่งความเร็วเฉลี่ยสามารถหาได้จากการคำนวณเวลาที่ใช้ในการเคลื่อนที่(วินาที)เทียบกับระยะทาง(เมตร) รถเข็นไฟฟ้ากินกระแสขณะเคลื่อนที่เฉลี่ย 9.71 แอมแปร์และความเร็วรอบเฉลี่ย 186.50 รอบต่อนาที ซึ่งจะเห็นได้ว่าหากรถเข็นไฟฟ้าบรรทุกน้ำหนักมากขึ้นหรือรับโหลดที่เพิ่มขึ้นรถเข็นไฟฟ้าก็จะกินกระแสเพิ่มมากขึ้นตามน้ำหนักที่บรรทุกหรือโหลดที่เพิ่มขึ้นส่งผลให้เวลาที่ใช้ในการเคลื่อนที่เพิ่มมากขึ้นด้วยแต่กลับกันเมื่อน้ำหนักบรรทุกมากจะทำให้ความเร็วและความเร็วรอบมอเตอร์ลดน้อยลง ซึ่งจะพบว่าค่าความเร็วเฉลี่ย ความเร็วรอบเฉลี่ยและกระแสเฉลี่ยมีค่าใกล้เคียงกันกับการทดสอบรถเข็นไฟฟ้าแบบเดินหน้าที่ระยะทาง 20 เมตร

ตารางที่ 4.5 ผลการทดสอบขับเคลื่อนรถเข็นไฟฟ้าแบบถอยหลังโดยการออกตัวจากจุดหยุดนิ่งที่ระยะทาง 40 เมตร

ลำดับ	น้ำหนัก (กิโลกรัม)	เวลาที่ใช้ในการ เคลื่อนที่ (วินาที)	ความเร็ว (m/s)	ความเร็วรอบ มอเตอร์(rpm)	กระแส (A)
1	40	25.78	3.10	148.17	2.62
2	50	26.51	3.02	144.09	2.91
3	60	27.12	2.95	140.85	3.43
4	70	27.93	2.86	136.76	3.94
5	80	31.75	2.52	120.31	4.61
6	90	39.57	2.02	96.53	5.25
7	100	45.01	1.78	84.87	6.01

จากตารางแสดงการทดสอบ ทำการทดสอบโดยการเคลื่อนที่ออกตัวการบิดคันเร่งสูงสุด ในระยะทาง 40 เมตรโดยทำการเคลื่อนที่แบบถอยหลัง ที่น้ำหนัก 40-100 กิโลกรัม โดยเริ่มจับเวลาจากจุดเริ่มต้นที่หยุดนิ่งและหยุดจับเวลาเมื่อรถจักรยานไฟฟ้าเคลื่อนที่ถึงระยะทาง 40 เมตร ได้ผลการทดสอบ ดังนี้ รถเข็นไฟฟ้าสามารถทำความเร็วสูงสุดที่ระยะทาง 40 เมตรแบบถอยหลังได้ที่ 3.10 เมตร/วินาที ด้วยน้ำหนัก 40 กิโลกรัมและสามารถทำความเร็วเฉลี่ยได้ที่ 2.50 เมตร/วินาที ซึ่งความเร็วเฉลี่ยสามารถหาได้จากการคำนวณเวลาที่ใช้ในการเคลื่อนที่(วินาที)เทียบกับระยะทาง(เมตร) รถเข็นไฟฟ้ากินกระแสขณะเคลื่อนที่เฉลี่ย 4.11 แอมแปร์และความเร็วรอบเฉลี่ย 119.54 รอบต่อนาที ซึ่งจะเห็นได้ว่าหากรถเข็นไฟฟ้าบรรทุกน้ำหนักมากขึ้นหรือรับโหลดที่เพิ่มขึ้นรถเข็นไฟฟ้าก็จะกินกระแสเพิ่มมากขึ้นตามน้ำหนักที่บรรทุกหรือโหลดที่เพิ่มขึ้นส่งผลให้เวลาที่ใช้ในการเคลื่อนที่เพิ่มมากขึ้นด้วยแต่กลับกันเมื่อน้ำหนักบรรทุกมากจะทำให้ความเร็วและความเร็วรอบมอเตอร์ลดน้อยลง โดยจะพบว่าผลการเคลื่อนที่แบบถอยหลังจะมีความเร็วและความเร็วรอบต่ำกว่าการเคลื่อนที่แบบเดินหน้าเนื่องจากการเคลื่อนที่แบบถอยหลังต้องคำนึงถึงความปลอดภัย ดังนั้นความเร็วที่ได้และความเร็วรอบจะต้องมีค่าลดลง ส่งผลให้รถเข็นไฟฟ้ากินกระแสขณะเคลื่อนที่ลดลงด้วย และจะพบว่าค่าความเร็วเฉลี่ย ความเร็วรอบเฉลี่ยและกระแสเฉลี่ยมีค่าใกล้เคียงกันกับการทดสอบรถเข็นไฟฟ้าแบบเดินหน้าที่ระยะทาง 20 เมตร

4.3.1.3 ค่าพารามิเตอร์ต่างๆที่ได้จากการทดลองมอเตอร์สภาพ On-Load ที่ระยะทาง 50 เมตร ตารางที่ 4.6 การทดสอบขับเคลื่อนรถเข็นไฟฟ้าแบบเดินหน้าโดยการออกตัวจากจุดหยุดนิ่งที่ระยะทาง 50 เมตร

ลำดับ	น้ำหนัก (กิโลกรัม)	เวลาที่ใช้ในการเคลื่อนที่ (วินาที)	ความเร็ว (m/s)	ความเร็วรอบมอเตอร์ (rpm)	กระแส (A)
1	40	18.77	5.33	254.38	8.53
2	50	19.46	5.14	245.36	9.01
3	60	21.18	4.72	225.43	9.51
4	70	23.10	4.33	206.69	10.02
5	80	28.32	3.53	168.60	10.48
6	90	33.74	2.96	141.51	10.95
7	100	36.15	2.77	132.08	12.05

จากตารางแสดงการทดสอบ ทำการทดสอบโดยการเคลื่อนที่ออกตัวการบิดคันเร่งสูงสุด ในระยะทาง 50 เมตรโดยทำการเคลื่อนที่แบบเดินหน้า ที่น้ำหนัก 40-100 กิโลกรัม โดยเริ่มจับเวลาจากจุดเริ่มต้นที่หยุดนิ่งและหยุดจับเวลาเมื่อรถจักรยานไฟฟ้าเคลื่อนที่ถึงระยะทาง 50 เมตร ได้ผลการทดสอบ ดังนี้ รถเข็นไฟฟ้าสามารถทำความเร็วสูงสุดที่ระยะทาง 50 เมตรได้ที่ 5.33 เมตร/วินาทีแบบเดินหน้า ด้วยน้ำหนัก 40 กิโลกรัมและสามารถทำความเร็วเฉลี่ยได้ที่ 3.87 เมตร/วินาที ซึ่งความเร็วเฉลี่ยสามารถหาได้จากการคำนวณเวลาที่ใช้ในการเคลื่อนที่(วินาที)เทียบกับระยะทาง(เมตร) รถเข็นไฟฟ้ากินกระแสขณะเคลื่อนที่เฉลี่ย 10.08 แอมแปร์และความเร็วรอบเฉลี่ย 184.94 รอบต่อนาที ซึ่งจะเห็นได้ว่าหากรถเข็นไฟฟ้าบรรทุกน้ำหนักมากขึ้นหรือรับโหลดที่เพิ่มขึ้นรถเข็นไฟฟ้าก็จะกินกระแสเพิ่มมากขึ้นตามน้ำหนักที่บรรทุกหรือโหลดที่เพิ่มขึ้นส่งผลให้เวลาที่ใช้ในการเคลื่อนที่เพิ่มมากขึ้นด้วยแต่กลับกันเมื่อน้ำหนักบรรทุกมากจะทำให้ความเร็วและความเร็วรอบมอเตอร์ลดน้อยลง ซึ่งจะพบว่าค่าความเร็วเฉลี่ย ความเร็วรอบเฉลี่ยและกระแสเฉลี่ยมีค่าใกล้เคียงกันกับการทดสอบรถเข็นไฟฟ้าแบบเดินหน้าที่ระยะทาง 20 เมตรและ 40 เมตร

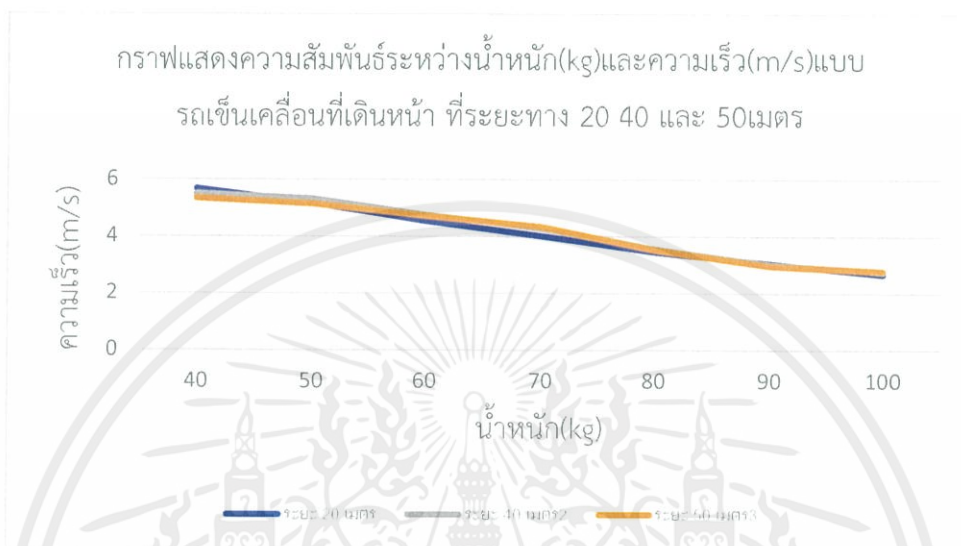
ตารางที่ 4.7 การทดสอบขับเคลื่อนรถเข็นไฟฟ้าแบบถอยหลังโดยการออกตัวจากจุดหยุดนิ่ง ที่ระยะทาง 50 เมตร

ลำดับ	น้ำหนัก (กิโลกรัม)	เวลาที่ใช้ในการ เคลื่อนที่ (วินาที)	ความเร็ว (m/s)	ความเร็วรอบ มอเตอร์(rpm)	กระแส (A)
1	40	31.75	3.15	154.57	2.79
2	50	32.74	3.05	145.83	3.10
3	60	34.02	2.94	140.35	3.60
4	70	35.42	2.82	134.80	4.07
5	80	41.98	2.38	113.74	4.59
6	90	48.86	2.05	97.72	5.30
7	100	53.54	1.87	89.18	5.98

จากตารางแสดงการทดสอบ ทำการทดสอบโดยการเคลื่อนที่ออกตัวการบิดคันเร่งสูงสุด ในระยะทาง 40 เมตรโดยทำการเคลื่อนที่แบบถอยหลัง ที่น้ำหนัก 40-100 กิโลกรัม โดยเริ่มจับเวลาจากจุดเริ่มต้นที่หยุดนิ่งและหยุดจับเวลาเมื่อรถจักรยานไฟฟ้าเคลื่อนที่ถึงระยะทาง 40 เมตร ได้ผลการทดสอบ ดังนี้ รถเข็นไฟฟ้าสามารถทำความเร็วสูงสุดที่ระยะทาง 40 เมตรแบบถอยหลังได้ที่ 3.15 เมตร/วินาที ด้วยน้ำหนัก 40 กิโลกรัมและสามารถทำความเร็วเฉลี่ยได้ที่ 2.52 เมตร/วินาที ซึ่งความเร็วเฉลี่ยสามารถหาได้จากการคำนวณเวลาที่ใช้ในการเคลื่อนที่(วินาที)เทียบกับระยะทาง(เมตร) รถเข็นไฟฟ้ากินกระแสขณะเคลื่อนที่เฉลี่ย 4.20 แอมแปร์และความเร็วรอบเฉลี่ย 120.09 รอบต่อนาที ซึ่งจะเห็นได้ว่าหากรถเข็นไฟฟ้าบรรทุกน้ำหนักมากขึ้นหรือรับโหลดที่เพิ่มขึ้นรถเข็นไฟฟ้าก็จะกินกระแสเพิ่มมากขึ้นตามน้ำหนักที่บรรทุกหรือโหลดที่เพิ่มขึ้นส่งผลให้เวลาที่ใช้ในการเคลื่อนที่เพิ่มมากขึ้นด้วยแต่กลับกันเมื่อน้ำหนักบรรทุกมากจะทำให้ความเร็วและความเร็วรอบมอเตอร์ลดน้อยลง โดยจะพบว่าผลการเคลื่อนที่แบบถอยหลังมีความเร็วและความเร็วรอบต่ำกว่าการเคลื่อนที่แบบเดินหน้าเนื่องจากการเคลื่อนที่แบบถอยหลังต้องคำนึงถึงความปลอดภัย ดังนั้นความเร็วที่ได้และความเร็วรอบจะต้องมีค่าลดลง ส่งผลให้รถเข็นไฟฟ้ากินกระแสขณะเคลื่อนที่ลดลงด้วย และจะพบว่าค่าความเร็วเฉลี่ย ความเร็วรอบเฉลี่ยและกระแสเฉลี่ยมีค่าใกล้เคียงกันกับการทดสอบรถเข็นไฟฟ้าแบบเดินหน้าที่ระยะทาง 20 เมตรและ 40 เมตร

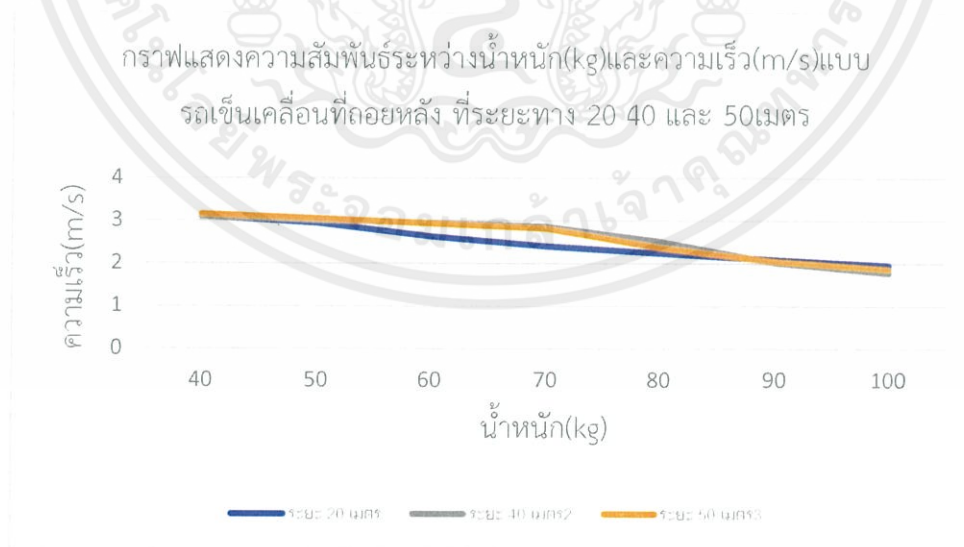
4.4 กราฟความสัมพันธ์ของพารามิเตอร์ต่างๆ

4.4.1 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนัก(kg)และความเร็ว(m/s)แบบรถเข็นเคลื่อนที่เดินทางที่ระยะทาง 20 40 และ 50 เมตร



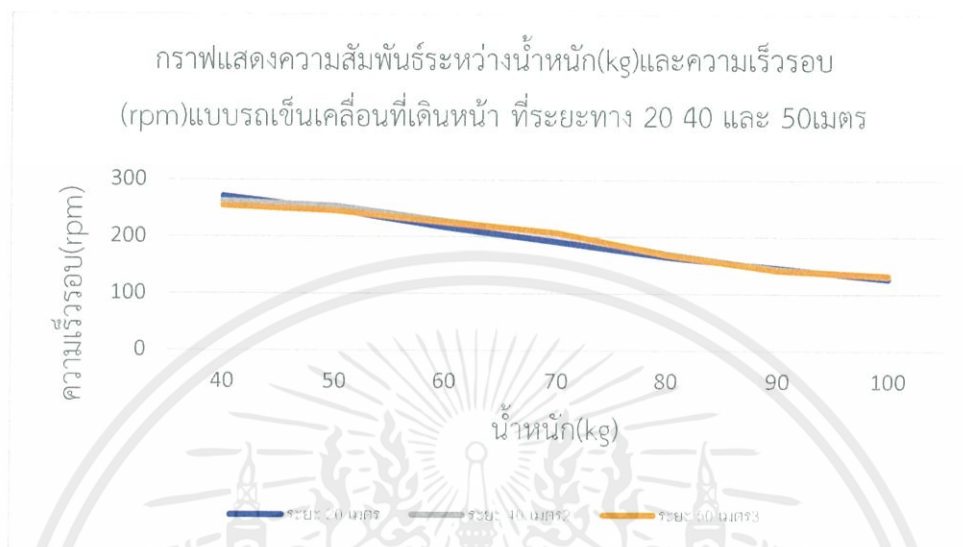
รูปที่ 4.1 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนัก(kg)และความเร็ว(m/s)แบบรถเข็นเคลื่อนที่เดินทาง ที่ระยะทาง 20 40 และ 50 เมตร

4.4.2 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนัก(kg)และความเร็ว(m/s)แบบรถเข็นเคลื่อนที่ถอยหลังที่ระยะทาง 20 40 และ 50 เมตร



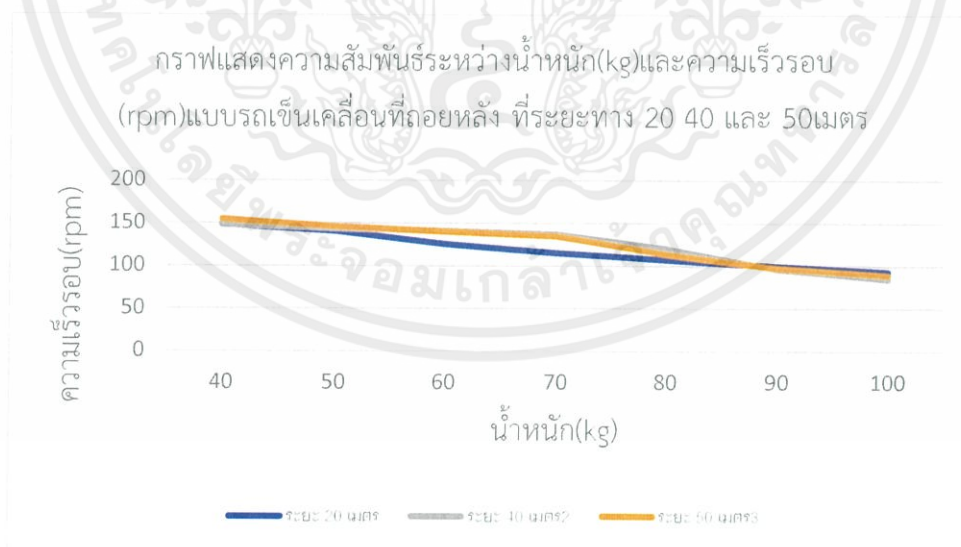
รูปที่ 4.2 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนัก(kg)และความเร็ว(m/s)แบบรถเข็นเคลื่อนที่ถอยหลัง ที่ระยะทาง 20 40 และ 50 เมตร

4.4.3 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนัก(kg)และความเร็วรอบ(rpm)แบบรถเข็นเคลื่อนที่เดินหน้าที่ระยะทาง 20 40 และ 50เมตร



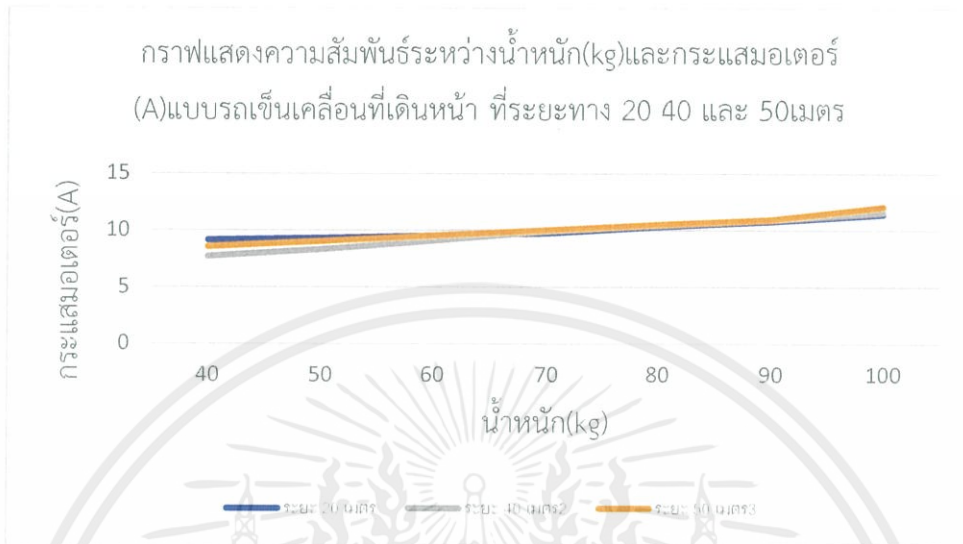
รูปที่ 4.3 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนัก(kg)และความเร็วรอบ(rpm)แบบรถเข็นเคลื่อนที่เดินหน้าที่ระยะทาง 20 40 และ 50เมตร

4.4.4 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนัก(kg)และความเร็วรอบ(rpm)แบบรถเข็นเคลื่อนที่ถอยหลังที่ระยะทาง 20 40 และ 50เมตร



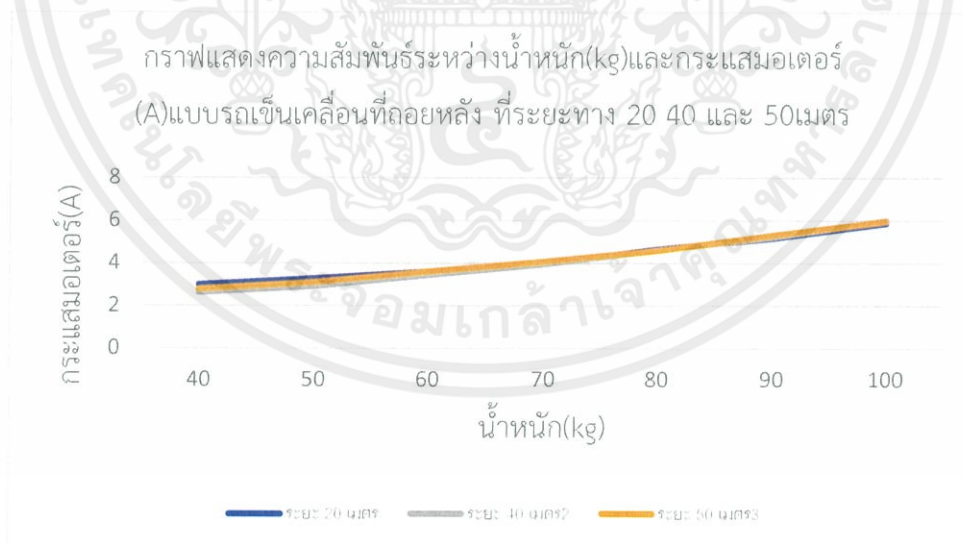
รูปที่ 4.4 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนัก(kg)และความเร็วรอบ(rpm)แบบรถเข็นเคลื่อนที่ถอยหลังที่ระยะทาง 20 40 และ 50เมตร

4.4.5 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนัก(kg)และกระแสมอเตอร์(A)แบบรถเข็นเคลื่อนที่เดินหน้าที่ระยะทาง 20 40 และ 50เมตร



รูปที่ 4.5 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนัก(kg)และกระแสมอเตอร์(A)แบบรถเข็นเคลื่อนที่เดินหน้าที่ระยะทาง 20 40 และ 50เมตร

4.4.6 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนัก(kg)และกระแสมอเตอร์(A)แบบรถเข็นเคลื่อนที่ถอยหลังที่ระยะทาง 20 40 และ 50เมตร



รูปที่ 4.6 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนัก(kg)และกระแสมอเตอร์(A)แบบรถเข็นเคลื่อนที่ถอยหลังที่ระยะทาง 20 40 และ 50เมตร

4.5 ระยะทางของรถจักรยานไฟฟ้าวิ่งได้ต่อการประจุแบตเตอรี่ 1 ครั้ง

การหาระยะทางที่รถเข็นไฟฟ้าสามารถวิ่งได้ต่อการประจุแบตเตอรี่ 1 ครั้ง ในที่นี้จะใช้ผู้ทดสอบที่น้ำหนัก 70 กิโลกรัม เป็นผู้ขับขี่โดยวิ่งบนถนนรอบสนามกีฬาสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบังซึ่งได้ระยะทางประมาณ 1 กิโลเมตร แบตเตอรี่ที่ใช้ในโครงการนี้เป็นชนิดลิเทียม-ไอออน ขนาด 24V/30 Ah จำนวน 1 ลูก

จากการทดสอบเมื่อประจุแบตเตอรี่เต็มทดสอบโดยการวิ่งด้วยความเร็วประมาณ 10 กิโลเมตร/ชั่วโมง ซึ่งจากการทดสอบรถเข็นไฟฟ้าสามารถวิ่งได้ระยะทาง 15 กิโลเมตร



บทที่ 5

สรุปและวิจารณ์ผลการทดลอง

5.1 บทสรุป

ปริญญานิพนธ์นี้ได้ทำการออกแบบและสร้างชุดขับเคลื่อนสำหรับรถเข็นไฟฟ้าขับเคลื่อนด้วยมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบไร้แปรงถ่าน ซึ่งควบคุมด้วยไอซีเบอร์ MC33033 การเร่งหรือลดความเร็วสามารถทำได้โดยการบิดหรือผ่อนคันเร่ง ซึ่งเป็นคำสั่งให้ไอซีเบอร์ MC33033 ไปขับมอเตอร์เฟดซึ่งทำหน้าที่เป็นอุปกรณ์สวิตซ์วงจรมอเตอร์แบบ 3 เฟสโดยใช้มอเตอร์เฟด จำนวน 6 ตัวเพื่อจับคู่การทำงานและทำการทดสอบรถเข็นไฟฟ้าบริเวณรอบสนามกีฬาสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ทำการทดสอบกับโหลดที่น้ำหนักและระยะทางต่างกันได้ผลเป็นที่น่าพึงพอใจโดยได้ผลสรุปดังนี้ จากผลการทดสอบการทำงานของรถเข็นไฟฟ้าขับเคลื่อนด้วยมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบไร้แปรงถ่านสามารถสรุปได้ว่าเมื่อน้ำหนักของผู้ใช้งานอยู่ที่ 70 กิโลกรัม สามารถขับเคลื่อนด้วยความเร็วสูงสุด 16 กิโลเมตร/ชั่วโมง ซึ่งขับเคลื่อนได้เป็นระยะทาง 15 กิโลเมตรต่อการประจุแบตเตอรี่ 1 ครั้ง โดยจะตัดการทำงานของรถเข็นไฟฟ้าเมื่อระดับแรงดันไฟฟ้าของแบตเตอรี่มีค่าต่ำกว่า 24 โวลต์ โดยผลการทดสอบประสิทธิภาพของชุดมอเตอร์ของรถเข็นไฟฟ้านี้ได้เป็นไปตามที่กำหนดไว้ในขอบเขตการทำปริญญานิพนธ์

5.2 สรุปผลการดำเนินโครงการ

จากการที่ได้ศึกษาและทดลองเกี่ยวกับการพัฒนาและปรับปรุงรถเข็นไฟฟ้าสามารถสรุปผลการดำเนินงานได้ดังนี้

5.2.1 ชุดขับเคลื่อนสำหรับมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบไร้แปรงถ่านสามารถใช้ขับเคลื่อนรถเข็นไฟฟ้าที่ความเร็วสูงสุด 20 กิโลเมตรต่อชั่วโมงที่น้ำหนักพิกัด 40 กิโลกรัม

5.2.2 ชุดขับเคลื่อนสำหรับมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบไร้แปรงถ่านสามารถใช้ขับเคลื่อนรถเข็นไฟฟ้าที่น้ำหนักพิกัด 100 กิโลกรัม

5.2.3 ชุดขับเคลื่อนสำหรับมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบไร้แปรงถ่านสามารถใช้ขับเคลื่อนรถเข็นไฟฟ้าแบบเดินหน้าและถอยหลังได้

5.2.4 รถเข็นไฟฟ้าสามารถเคลื่อนที่ในผิวขรุขระและพื้นเอียงได้

5.2.5 ชุดขับเคลื่อนและตัวรถเข็นไฟฟ้าสามารถถอดแยกออกจากกันได้โดยอิสระ ทำให้ง่ายต่อการซ่อมและบำรุงรักษา

5.3 ปัญหาและอุปสรรค

5.3.1 เนื่องจากผู้จัดทำต้องการให้เกิดความสะดวกสบายในการใช้งานรถเข็นไฟฟ้าจึงทำให้ต้องมีการออกแบบทางด้านกลศาสตร์ที่ซับซ้อนจึงทำให้งานเกิดการล่าช้า

5.3.2 เนื่องจากแบตเตอรี่ที่ใช้งานเป็นแบตเตอรี่ที่มีขนาดใหญ่ทำให้น้ำหนักโดยรวมของรถเข็นมีน้ำหนักมากและระยะเวลาในการประจุแบตเตอรี่แต่ละครั้งใช้เวลาค่อนข้างสูง

5.4 ข้อเสนอแนะ

5.4.1 ควรเปลี่ยนแบตเตอรี่ให้มีน้ำหนักน้อยลง เพื่อให้รถเข็นมีน้ำหนักเบาขึ้นและสามารถวิ่งไ้เร็วขึ้นและรับรองโหดได้มากขึ้น

5.4.2 ควรปรับปรุงชุดป้องกันกระแสเกินให้สามารถตัดการทำงานของรถเข็นไฟฟ้า เมื่อรถเข็นไฟฟ้าเกิดความขัดข้องขณะขับขี่ เช่น ลูกปืนแตกหรือชนวัตถุบางอย่างบนท้องถนน เป็นต้น

5.4.3 ควรปรับปรุงระบบชาร์จแบตเตอรี่ให้มีความง่ายสะดวกและมีความซับซ้อนน้อยลงเพื่อสะดวกต่อการใช้งาน



เอกสารอ้างอิง

- [1] อนุวัฒน์ จางวนิชเลิศ, เอกสารประกอบการสอนวิชาแหล่งจ่ายกำลังไฟฟ้าแบบสวิตชิง, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
- [2] วีระเชษฐ์ ชันเงิน, วุฒิพล ธาราธีรเศรษฐ์, อิเล็กทรอนิกส์กำลัง. พิมพ์ครั้งที่11.กรุงเทพฯ :ห้างหุ้นส่วนจำกัด วี.เจ.พรินติ้ง.2554
- [3] รศ.ดร.ชัยวุฒิ ฉัตรอุทัย, เอกสารประกอบการสอนวิชา Electrical Machine, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง, 2557
- [4] Hughes, Edward, Hughes, electrical technology (revised by Ian McKenzie Smith). London : Longman, 1997.
- [5] เฉลิมพล เรื่องพัฒนาวิวัฒน์และยุทธนา กันทะพะเยา, “การควบคุมมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงไร้แปรงถ่านด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์สำหรับจักรยานสามล้อไฟฟ้า”, วารสารวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา, ปีที่ 1, ฉบับที่ 1, 2559, หน้า 17-22.
- [6] Xia, C.L. (2012). Permanent magnet brushless DC motor drives and controls, John Wiley & Sons, Singapore.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การพัฒนาและปรับปรุงรถเข็นไฟฟ้า

Development and Improvement of Electric Wheelchair

ปิยรัฐ ชวราชฤทธิ์ ปธานิน พาณิช ปฏิภาณ เหล่ากอ และ ปาฏิหารย์ ตั้งศิษานนท์

ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

1 ซอย ดลองกรุง 1 ลาดกระบัง กรุงเทพมหานคร 10520 โทรศัพท์ 02-329-8000 ต่อ 3925 E-Mail: piyarat_11392@hotmail.com

บทคัดย่อ

ปริญญานิพนธ์นี้จัดทำขึ้นเพื่อตอบสนองปัญหาการเคลื่อนที่ของผู้สูงอายุ ผู้พิการ หรือผู้ป่วยที่ไม่สามารถเคลื่อนที่เองได้ โดยจำเป็นต้องใช้รถเข็นและที่ผ่านมาได้มีการสร้างรถเข็นไฟฟ้าโดยใช้มอเตอร์กระแสตรงแบบไร้แปรงถ่านเป็นตัวขับเคลื่อน ส่งผลให้รถเข็นไฟฟ้ารองรับโหลดได้น้อยและประสิทธิภาพการทำงานของมอเตอร์ต่ำไม่สามารถขับเคลื่อนในพื้นที่ผิวขรุขระหรือพื้นเอียงได้ ทางกลุ่มผู้จัดทำจึงได้ทำการพัฒนาและปรับปรุงโดยใช้มอเตอร์กระแสตรงแบบไร้แปรงถ่านเป็นตัวขับเคลื่อนแทนซึ่งในโครงการนี้ได้ทำการออกแบบรถเข็นไฟฟ้าที่สามารถปรับความเร็วและควบคุมทิศทางด้วยมือโดยรถเข็นไฟฟ้าที่ใช้มอเตอร์กระแสตรงชนิดไร้แปรงถ่านขนาด 24V พิกัดกำลัง 250W จงจรแปลงผันกำลังไฟฟ้าใช้มอสเฟตเป็นสวิตช์โดยสวิตช์ที่ความถี่ 10 kHz การควบคุมความเร็วของมอเตอร์ใช้ไอซีเบอร์ MC33033 ทำหน้าที่ปรับความกว้างของสัญญาณขั้วนำสวิตช์ในวงจรแปลงผันกำลังไฟฟ้าให้สอดคล้องกับการบิดคันเร่งและสัญญาณตำแหน่งของมอเตอร์จากเอนโคเดอร์

คำสำคัญ: รถเข็นไฟฟ้า, ไอซีเบอร์ MC33033, มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบไร้แปรงถ่าน

Abstract

This project proposes of the response and solve problem for the elder, the disabled and the sick people who are inconvenient to move. So, they need to use the electric wheel chair with speed and direction control to move. The project presents the development and design for the electric wheel chair from the previous by changing motor from brushed dc motor to 24V 250W brushless dc motor and using IC 'MC33033' for controlling of MOSFETs in DC-DC Chopper. The DC-DC chopper in this project includes 6 switches MOSFETs with frequency of 10 kHz by using IC 'MC33033' to control speed and adjusting the pulse-width of switch

MOSFETs to match with twisted accelerator and signal position of motor from encoder.

Keyword: Electric Wheelchair, IC 'MC33033', Brushless DC Motor

1. บทนำ

ในปัจจุบันจำนวนผู้สูงอายุของประเทศไทยมีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้น สาเหตุเนื่องจากปัจจุบันเทคโนโลยีทางการแพทย์ได้มีการพัฒนาที่ก้าวไกลแต่ก่อนเป็นอย่างมาก จึงทำให้จำนวนผู้สูงอายุมีจำนวนเพิ่มขึ้นและมีแนวโน้มที่จะพัฒนาดีขึ้นไปเรื่อยๆ ส่งผลให้อายุขัยของประชากรเพิ่มขึ้นและจะทำให้มีจำนวนผู้สูงอายุมากขึ้น เห็นได้ว่าเทคโนโลยีเพื่ออำนวยความสะดวกช่วยเหลือผู้สูงอายุเป็นสิ่งสำคัญอย่างมากและเป็นที่ต้องการสูงจากผู้สูงอายุส่วนใหญ่จะพบเจอกับปัญหาต่างๆหนึ่งในปัญหาที่ผู้วิจัยได้พบเห็นคือปัญหาในการใช้ชีวิต การเคลื่อนที่ของผู้สูงอายุ โดยปกติผู้สูงอายุที่มีปัญหาในการเคลื่อนที่จำเป็นต้องใช้รถเข็น ผู้วิจัยได้เกิดความคิดที่จะพัฒนาและเพิ่มสิ่งอำนวยความสะดวกให้รถเข็นเพื่อเพิ่มความสะดวกสบายให้แก่ผู้สูงอายุ โดยการนำรถเข็นธรรมดาให้เปลี่ยนเป็นรถเข็นไฟฟ้าและเป็นรถเข็นไฟฟ้าที่มีสมรรถภาพดีกว่ารถเข็นไฟฟ้าทั่วไปในท้องตลาดและจากที่กล่าวมาข้างต้นจึงเป็นเป็นเหตุผลให้ผู้วิจัยได้เกิดความคิดที่จะพัฒนารถเข็นไฟฟ้าเพื่อตอบสนองความต้องการของผู้ใช้งานที่เพิ่มขึ้นและต้องการรถเข็นที่มีคุณภาพรวมทั้งสมรรถภาพมากขึ้นจากที่มีอยู่ทั่วไป

2. ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.1 มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบไร้แปรงถ่าน (Brushless DC Motor)

มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบไร้แปรงถ่านมีส่วนประกอบที่สำคัญคือส่วนหมุนที่เป็นแม่เหล็กถาวรและส่วนอยู่กับที่เป็นขดลวดอาร์เมเจอร์ ถ้าย้อนกลับไปพิจารณาถึงมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบมีแปรงถ่านในการทำงานแม่เหล็กถาวรจะอยู่กับที่ในขณะที่ขดลวดอาร์เมเจอร์เป็นส่วนหมุน มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงทั้ง 2 ชนิดกระแสไฟฟ้าจะไหลผ่าน

ตัวนำกลับไปกลับมาเพื่อสร้างขั้วแม่เหล็กขึ้นในทำนองเดียวกันเพื่อให้แน่ใจว่าแรงบิดที่เกิดขึ้นนั้นมีทิศทางไปในทางเดียวกันให้สังเกตรวมมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบมีแปรงถ่านการกลับขั้วถูกจัดการโดยแปรงถ่านและคอมมิวเตเตอร์ ส่วนมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบไร้แปรงถ่านการกลับขั้วถูกจัดการโดยทรานซิสเตอร์กำลังซึ่งต้องถูกสวิตช์ไปตามลำดับตำแหน่งการหมุนของโรเตอร์เช่นเดียวกันซึ่งการตรวจสอบตำแหน่งการหมุนของโรเตอร์จะใช้ตัวถอดรหัส(Encoder)แทนการใช้คอมมิวเตเตอร์กับการแปร่งถ่าน ขบวนการติดต่อทางไฟฟ้าของมอเตอร์ทั้งสองชนิดเหมือนกันเป็นสาเหตุให้เกิดสมการและคุณสมบัติระหว่างความเร็วรอบและแรงบิดเกือบจะเหมือนกันทุกประการ

การทำงานของมอเตอร์กระแสตรงแบบไร้แปรงถ่านจะแตกต่างกับการทำงานของมอเตอร์แบบมีแปรงถ่านคือ ในมอเตอร์แบบมีแปรงถ่านมีแปรงถ่านเป็นตัวคอยสับเปลี่ยนการจ่ายกระแสไฟฟ้าให้กับขดลวดเพื่อสร้างสนามแม่เหล็กที่เหมาะสมซึ่งมอเตอร์ชนิดนี้จึงสายเพียง 2 เส้นเท่านั้นแต่ในมอเตอร์กระแสตรงแบบไร้แปรงถ่านจะมีขดลวดอยู่ 3 ชุดและจะทำงานครั้งละ 2 ชุดสับเปลี่ยนกันเพื่อสร้างสนามแม่เหล็กที่เหมาะสมจะเห็นได้ว่ามอเตอร์กระแสตรงแบบไร้แปรงถ่านจะมีสายจำนวน 3 เส้นต่อออกมาตามรูปที่ 2.2 คือ ขั้ว A, B และ C



รูปที่ 2.2 วงจรภายในมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบไร้แปรงถ่าน

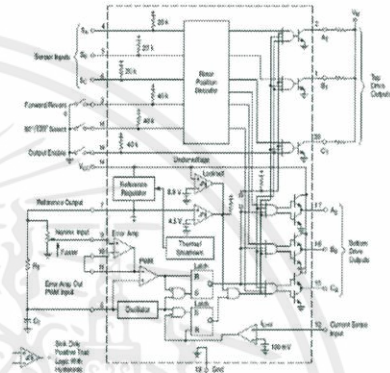
ตารางที่ 2.1 แสดงการถอดรหัส Encoder ของมอเตอร์และการทำงานของมอเตอร์

Enc	Top	Bottom	TLP	ภาคกำลังชุดบน			ภาคกำลังชุดล่าง		
				Q ₁	Q ₂	Q ₃	Q ₄	Q ₅	Q ₆
100	011	001	100	on	-	-	-	-	on
110	101	001	010	-	on	-	-	-	on
111	101	100	010	-	on	-	on	-	-
011	110	100	011	-	-	on	on	-	-
001	110	010	011	-	-	on	-	on	-
000	011	010	100	on	-	-	-	on	-

2.2 ไอซีเบอร์ MC33033

ในการออกแบบชุดควบคุมมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบไร้แปรงถ่านอาศัยหลักการตรวจสอบตำแหน่งของโรเตอร์เป็นองศาแล้วจึง

สร้างสนามแม่เหล็กที่เกิดบนสเตเตอร์ให้สัมพันธ์กับโรเตอร์ซึ่งสามารถปรับความเร็วรอบของมอเตอร์ได้ด้วย การชอปเปอร์แรงดันที่สร้างสนามแม่เหล็กขึ้นซึ่งในโครงการนี้ได้เลือกใช้ไอซีเบอร์ MC33033 เป็นควบคุม ไอซี MC33033 เป็นไอซีที่ออกแบบมาเพื่อใช้ในงานควบคุมมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบไร้แปรงถ่าน โดยที่ไอซีจะรับสัญญาณบอกตำแหน่งของโรเตอร์มาแล้วถอดรหัสสร้างเป็นสัญญาณพัลส์วัดมุมดูเลขขึ้นโครงสร้างและจัดการของ ไอซีเบอร์ MC33033 แสดงดังรูปที่ 2.12



รูปที่ 2.12 โครงสร้างภายในและการจัดการของไอซีเบอร์ MC33033

2.3 ฤทธิ์และหลักการทำงานของ Battery

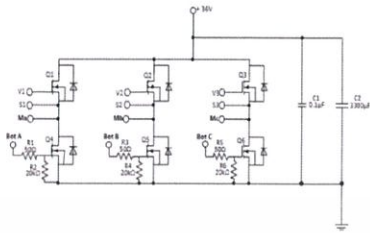
แบตเตอรี่สามารถเป็น โหลดและแหล่งจ่ายได้ แบตเตอรี่จะทำหน้าที่เป็นโหลดเมื่อทำการชาร์จ และทำหน้าที่เป็นแหล่งจ่ายกระแสเมื่อนำแบตเตอรี่ไปจ่ายให้กับโหลด(ซึ่งแบตเตอรี่จะสามารถเป็น โหลดและแหล่งจ่ายได้ในเวลาเดียวกัน)ซึ่งในการชาร์จไฟจากแหล่งจ่ายที่จ่ายให้แบตเตอรี่จะต้องมี แรงดันสูงกว่าที่ขั้วของแบตเตอรี่และจะต้องไม่สูงจนเกินไปถ้าเกิดสูงจนเกินไปจะทำให้แบตเตอรี่เกิดความเสียหายได้

ตารางที่ 2.5 ตารางเปรียบเทียบแบตเตอรี่

Attributes	Ni-Cd	Ni-MH	Li-Ion
Self-Discharging	yes	yes	no
Memory Effect	yes	yes(less than Ni-cd)	no
Storage	charge before storage	discharge before storage	no need to do something special
Shape	cluster	cluster / slide	slide
Term Of Storage	12 Month	12 Month / 24 Month	-

จากตารางที่ 2.5 จะเห็นได้ว่าแบตเตอรี่แบบลิเทียม-ไอออน นั้นให้กำลังไฟฟ้าสูงไม่มี Memory Effect น้ำหนักเบาและไม่เป็นพิษต่อสิ่งแวดล้อม ผู้วิจัยจึงได้เลือกใช้แบตเตอรี่ชนิดแห้งแบบลิเทียม-ไอออน การชาร์จแบตเตอรี่ลิเทียม-ไอออน เซลล์แบตเตอรี่ส่วนใหญ่จะถูกชาร์จที่ความต่างศักย์ 4.2 V +/- 0.05 โดยที่กระบวนการชาร์จจะสามารถ

เลือกใช้ออสเฟลก้าลังเบอร์ IRF3205 เพราะมีค่า $V_{DSS} = 80V$, $R_{DS(ON)} = 8.0m\Omega$, $I_D = 110A$



รูปที่ 3.8 วงจรภาคกำลัง

3.4 วงจรแหล่งจ่ายไฟ

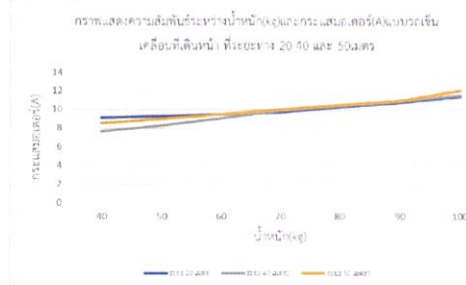
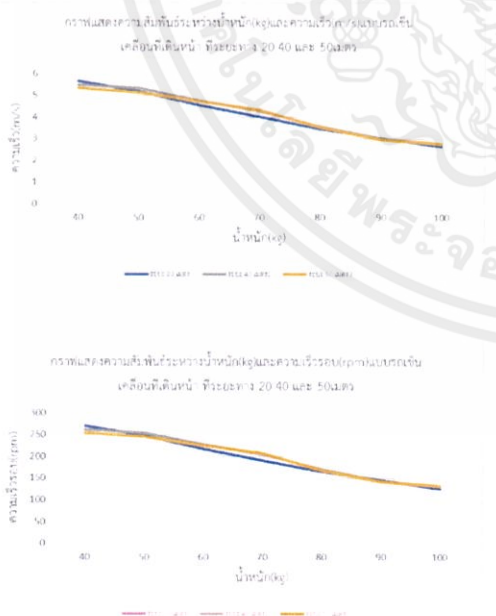
เนื่องจากการทำงานของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบไร้แปรงถ่านนั้นจะมีการทำงานอยู่ 3 จุดซึ่งแต่ละจุดมีระดับแรงดันที่ต้องการที่แตกต่างกันดังนี้ แหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรง 5V เลือกใช้อิซีเบอร์ 7805 แหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรง 15V เลือกใช้อิซีเบอร์ 7815 แหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรง 15V ที่จ่ายให้อาห์พุทของวงจรชุดขับสวิตซ์เลือกใช้อิซีเบอร์ NME0515DC

4.ผลการทดลอง

4.1 ค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ที่ได้จากการทดลองมอเตอร์ สภาพ No-Load

ครั้งที่	แรงดัน (V)	กระแส (I)	ความเร็วรอบ (rpm)
1	24.2	1.05	300
2	24.1	1.07	301
3	24.2	1.04	302

4.2 กราฟแสดงความสัมพันธ์ของพารามิเตอร์ต่างๆ



4.3 ระยะทางของรถจักรยานไฟฟ้าวิ่งได้ต่อการประจุแบตเตอรี่ 1 ครั้ง

จากการทดสอบเมื่อประจุแบตเตอรี่เต็มทดสอบโดยการวิ่งด้วยความเร็วประมาณ 10 กิโลเมตร/ชั่วโมง สามารถวิ่งได้ระยะทาง 15 กิโลเมตร

5.สรุปผลการดำเนินการ

จากผลการทดสอบการทำงานของรถจักรยานไฟฟ้าขับเคลื่อนด้วยมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบไร้แปรงถ่าน สามารถสรุปได้ว่า ชุดขับเคลื่อนสำหรับมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบไร้แปรงถ่านสามารถขับเคลื่อนรถจักรยานไฟฟ้าที่ความเร็วสูงสุด 20 กิโลเมตรต่อชั่วโมง ที่น้ำหนักพิกัด 40 กิโลกรัม รองรับ โหลดได้ตั้งแต่ 40-100 กิโลกรัม สามารถเคลื่อนที่ในผิวขรุขระและพื้นเอียงได้ ขับเคลื่อนได้เป็นระยะทาง 15 กิโลเมตรต่อการประจุแบตเตอรี่ 1 ครั้ง โดยจะตัดการทำงานของรถจักรยานไฟฟ้าเมื่อระดับแรงดันไฟฟ้าของแบตเตอรี่มีค่าต่ำกว่า 24 โวลต์ โดยผลการทดสอบประสิทธิภาพของชุดมอเตอร์ของรถจักรยานไฟฟ้านี้ได้เป็นไปตามที่กำหนดไว้ในขอบเขตการทำปริญญ์

6.กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์ ดร.อนุวัฒน์ จางวนิชเลิศ ผู้เป็นอาจารย์ที่ปรึกษา ที่ได้กรุณาให้ข้อเสนอแนะและข้อคิดเห็นต่างๆที่เป็นประโยชน์ต่อโครงงานมาด้วยดีตลอด จนโครงงานนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี และขอขอบคุณอาจารย์ ดุสิต สุขสวัสดิ์ และคุณ โกวิท สุขสวัสดิ์ ที่ได้สนับสนุนเครื่องมือและอุปกรณ์ต่างๆในการทำวิจัย และช่วยแนะนำแก้ปัญหาด้วยดีมาโดยตลอด

เอกสารอ้างอิง

[1] อนุวัฒน์ จางวนิชเลิศ, แหล่งจ่ายกำลังไฟฟ้าแบบสวิตซ์, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
 [2] Xia, C.L. (2012). Permanent magnet brushless DC motor drives and controls, John Wiley & Sons, Singapore.

ผู้เขียนบทความ นาย ปิรัช ขาวราษฎร์ สำเร็จการศึกษาระดับมัธยมศึกษาจากโรงเรียนนวมินทราชินูทิศ หอวัง นนทบุรี สำเร็จการศึกษาระดับปริญญาตรี สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ที่อยู่ 126 แขวงคอนเมือง เขตคอนเมือง กทม. 12010

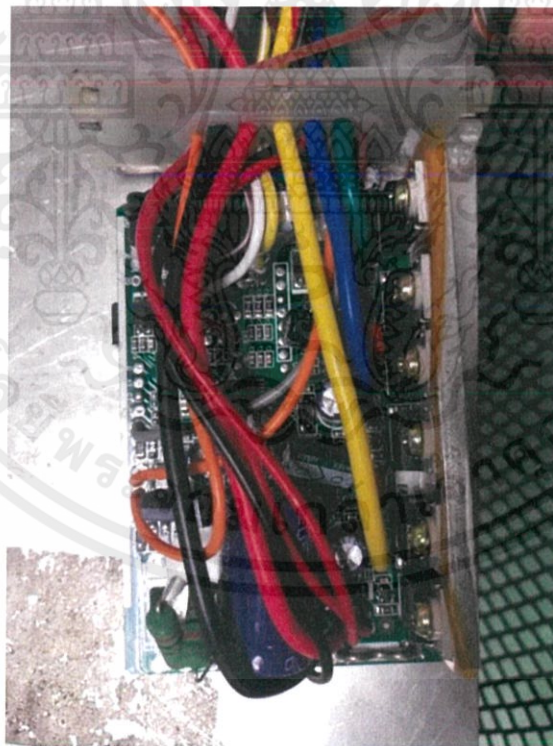


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

	<p>มิเตอร์วัดค่าความเร็วรอบ TACHOMETER</p> <p>รุ่น DT-559TS</p> <p>คุณลักษณะ</p> <p>เป็นเครื่องวัดความเร็วรอบ / สโตรโบสโคป เป็นเครื่องวัดที่มีความเที่ยงตรงสูง, ย่านการวัดกว้าง แสดงผลแบบดิจิทัล</p> <p>ย่านการวัด สโตรโบสโคป ระบบดิจิทัล : 100 FPM/RPM – 100,000 FPM/RPM</p> <p>ย่านการวัดความเร็วรอบ : 5–99,999 RPM</p>
---	---



รูปที่ ก-1 วงจรควบคุมมอเตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ก-2 แบตเตอรี่ 24V 30Ah



รูปที่ ก-3 อุปกรณ์ชาร์จแบตเตอรี่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ก-4 มอเตอร์กระแสตรงแบบไร้แปรงถ่าน พิกัด 24V 250W



รูปที่ ก-5 รถเข็นไฟฟ้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

MC33033, NCV33033

Brushless DC Motor Controller

The MC33033 is a high performance second generation, limited feature, monolithic brushless dc motor controller which has evolved from ON Semiconductor's full featured MC33034 and MC33035 controllers. It contains all of the active functions required for the implementation of open loop, three or four phase motor control. The device consists of a rotor position decoder for proper commutation sequencing, temperature compensated reference capable of supplying sensor power, frequency programmable sawtooth oscillator, fully accessible error amplifier, pulse width modulator comparator, three open collector top drivers, and three high current totem pole bottom drivers ideally suited for driving power MOSFETs. Unlike its predecessors, it does not feature separate drive circuit supply and ground pins, brake input, or fault output signal.

Included in the MC33033 are protective features consisting of undervoltage lockout, cycle-by-cycle current limiting with a selectable time delayed latched shutdown mode, and internal thermal shutdown.

Typical motor control functions include open loop speed, forward or reverse direction, and run enable. The MC33033 is designed to operate brushless motors with electrical sensor phasings of 60°/300° or 120°/240°, and can also efficiently control brush dc motors.

Features

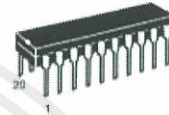
- 10 to 30 V Operation
- Undervoltage Lockout
- 6.25 V Reference Capable of Supplying Sensor Power
- Fully Accessible Error Amplifier for Closed Loop Servo Applications
- High Current Drivers Can Control External 3-Phase MOSFET Bridge
- Cycle-By-Cycle Current Limiting
- Internal Thermal Shutdown
- Selectable 60°/300° or 120°/240° Sensor Phasings
- Also Efficiently Control Brush DC Motors with External MOSFET H-Bridge
- NCV Prefix for Automotive and Other Applications Requiring Site and Control Changes
- Pb-Free Packages are Available



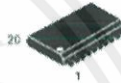
ON Semiconductor®

<http://onsemi.com>

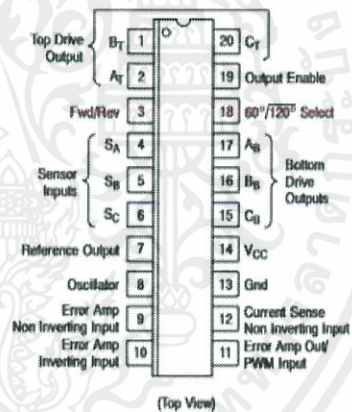
PDIP-20
P SUFFIX
CASE 738



SO-20L
DW SUFFIX
CASE 751D



PIN CONNECTIONS



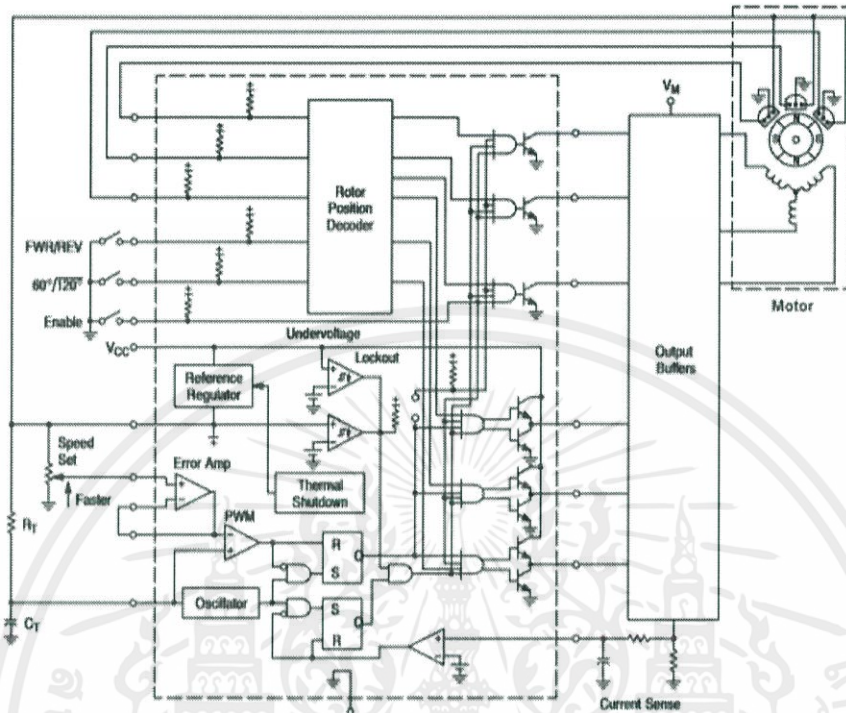
ORDERING INFORMATION

See detailed ordering and shipping information in the package dimensions section on page 25 of this data sheet.

DEVICE MARKING INFORMATION

See general marking information in the device marking section on page 25 of this data sheet.

MC33033, NCV33033



This device contains 256 active transistors.

Figure 1. Representative Schematic Diagram

MC33033, NCV33033

MAXIMUM RATINGS

Rating	Symbol	Value	Unit
Power Supply Voltage	V_{CC}	30	V
Digital Inputs (Pins 3, 4, 5, 6, 18, 19)	-	V_{ref}	V
Oscillator Input Current (Source or Sink)	I_{OSC}	30	mA
Error Amp Input Voltage Range (Pins 9, 10, Note 1)	V_{IR}	-0.3 to V_{ref}	V
Error Amp Output Current (Source or Sink, Note 2)	I_{Out}	10	mA
Current Sense Input Voltage Range	V_{Sense}	-0.3 to 5.0	V
Top Drive Voltage (Pins 1, 2, 20)	$V_{CE(top)}$	40	V
Top Drive Sink Current (Pins 1, 2, 20)	$I_{sink(top)}$	50	mA
Bottom Drive Output Current (Source or Sink, Pins 15, 16, 17)	I_{DRV}	100	mA
Electrostatic Discharge Sensitivity (ESD) Human Body Model (HBM) Class 2, JESD22 A114-C Machine Model (MM) Class A, JESD22 A115-A Charged Device Model (CDM), JESD22 C101-C	- - -	2000 200 2000	V V V
Power Dissipation and Thermal Characteristics P Suffix, Dual-In-Line, Case 738 Maximum Power Dissipation @ $T_A = 85^\circ\text{C}$ Thermal Resistance, Junction-to-Air DW Suffix, Surface Mount, Case 751D Maximum Power Dissipation @ $T_A = 85^\circ\text{C}$ Thermal Resistance, Junction-to-Air	P_D R_{JA} P_D R_{JA}	867 75 619 105	mW $^\circ\text{C/W}$ mW $^\circ\text{C/W}$
Operating Junction Temperature	T_J	150	$^\circ\text{C}$
Operating Ambient Temperature Range (Note 3)	MC33033 NCV33033	T_A -40 to +85 -40 to +125	$^\circ\text{C}$
Storage Temperature Range	T_{stg}	-65 to +150	$^\circ\text{C}$

Stresses exceeding Maximum Ratings may damage the device. Maximum Ratings are stress ratings only. Functional operation above the Recommended Operating Conditions is not implied. Extended exposure to stresses above the Recommended Operating Conditions may affect device reliability.

1. The input common mode voltage or input signal voltage should not be allowed to go negative by more than 0.3 V.
2. The compliance voltage must not exceed the range of -0.3 to V_{ref} .
3. NCV33033: $T_{low} = -40^\circ\text{C}$, $T_{high} = 125^\circ\text{C}$. Guaranteed by design. NCV prefix is for automotive and other applications requiring site and change control.

MC33033, NCV33033

ELECTRICAL CHARACTERISTICS ($V_{CC} = 20\text{ V}$, $R_T = 4.7\text{ k}$, $C_T = 10\text{ nF}$, $T_A = 25^\circ\text{C}$, unless otherwise noted.)

Characteristic	Symbol	Min	Typ	Max	Unit
REFERENCE SECTION					
Reference Output Voltage ($I_{ref} = 1.0\text{ mA}$) $T_A = 25^\circ\text{C}$ (Note 4)	V_{ref}	5.9 5.82	6.24 -	6.5 6.57	V
Line Regulation ($V_{CC} = 10\text{ V to }30\text{ V}$, $I_{ref} = 1.0\text{ mA}$)	Reg_{line}	-	1.5	30	mV
Load Regulation ($I_{ref} = 1.0\text{ mA to }20\text{ mA}$)	Reg_{load}	-	16	30	mV
Output Short-Circuit Current (Note 5)	I_{SC}	40	75	-	mA
Reference Under Voltage Lockout Threshold	V_{th}	4.0	4.5	5.0	V
ERROR AMPLIFIER					
Input Offset Voltage (Note 4)	V_{IO}	-	0.4	10	mV
Input Offset Current (Note 4)	I_{IO}	-	8.0	500	nA
Input Bias Current (Note 4)	I_{IB}	-	-46	-1000	nA
Input Common Mode Voltage Range	V_{ICR}	(0 V to V_{ref})			V
Open Loop Voltage Gain ($V_{O1} = 3.0\text{ V}$, $R_L = 15\text{ k}$)	A_{VOL}	70	80	-	dB
Input Common Mode Rejection Ratio	CMRR	55	86	-	dB
Power Supply Rejection Ratio ($V_{CC} = 10\text{ V to }30\text{ V}$)	PSRR	65	105	-	dB
Output Voltage Swing High State ($R_L = 15\text{ k to Gnd}$) Low State ($R_L = 17\text{ k to }V_{ref}$)	V_{OH} V_{OL}	4.8 -	5.3 0.5	- 1.0	V

4. MC33033: $T_A = -40^\circ\text{C to }+85^\circ\text{C}$; NCV33033: $T_A = -40^\circ\text{C to }+125^\circ\text{C}$.

5. Maximum package power dissipation limits must be observed.

MC33033, NCV33033

ELECTRICAL CHARACTERISTICS (continued) ($V_{CC} = 20\text{ V}$, $R_T = 4.7\text{ k}$, $C_T = 10\text{ nF}$, $T_A = 25^\circ\text{C}$, unless otherwise noted.)

Characteristic	Symbol	Min	Typ	Max	Unit
OSCILLATOR SECTION					
Oscillator Frequency	f_{OSC}	22	25	28	kHz
Frequency Change with Voltage ($V_{CC} = 10\text{ V to }30\text{ V}$)	$\Delta f_{OSC}/\Delta V$	-	0.01	5.0	%
Sawtooth Peak Voltage	$V_{OSC(P)}$	-	4.1	4.5	V
Sawtooth Valley Voltage	$V_{OSC(V)}$	1.2	1.5	-	V
LOGIC INPUTS					
Input Threshold Voltage (Pins 3, 4, 5, 6, 18, 19) High State Low State	V_{IH} V_{IL}	3.0 -	2.2 1.7	- 0.8	V
Sensor Inputs (Pins 4, 5, 6) High State Input Current ($V_{IH} = 5.0\text{ V}$) Low State Input Current ($V_{IL} = 0\text{ V}$)	I_{IH} I_{IL}	-150 -600	-70 -337	-20 -150	μA
Forward/Reverse, $60^\circ/120^\circ$ Select and Output Enable (Pins 3, 18, 19) High State Input Current ($V_{IH} = 5.0\text{ V}$) Low State Input Current ($V_{IL} = 0\text{ V}$)	I_{IH} I_{IL}	-75 -300	-38 -175	-10 -75	μA
CURRENT-LIMIT COMPARATOR					
Threshold Voltage	V_{th}	85	101	115	mV
Input Common Mode Voltage Range	V_{ICR}	-	3.0	-	V
Input Bias Current	I_{IB}	-	-0.9	-5.0	μA
OUTPUTS AND POWER SECTIONS					
Top Drive Output Sink Saturation ($I_{sink} = 25\text{ mA}$)	$V_{CE(sat)}$	-	0.5	1.5	V
Top Drive Output Off-State Leakage ($V_{CE} = 30\text{ V}$)	$I_{DRV(leak)}$	-	0.06	100	μA
Top Drive Output Switching Time ($C_L = 47\text{ pF}$, $R_L = 1.0\text{ k}$) Rise Time Fall Time	t_r t_f	- -	107 26	300 300	ns
Bottom Drive Output Voltage High State ($V_{CC} = 30\text{ V}$, $I_{source} = 50\text{ mA}$) Low State ($V_{CC} = 30\text{ V}$, $I_{sink} = 50\text{ mA}$)	V_{OH} V_{OL}	($V_{CC} - 2.0$) -	($V_{CC} - 1.1$) 1.5	- 2.0	V
Bottom Drive Output Switching Time ($C_L = 1000\text{ pF}$) Rise Time Fall Time	t_r t_f	- -	38 30	200 200	ns
Under Voltage Lockout Drive Output Enabled (V_{CC} Increasing) Hysteresis	$V_{th(ou)}$ V_H	8.2 0.1	8.9 0.2	10 0.3	V
Power Supply Current	I_{CC}	-	15	22	mA

MC33033, NCV33033

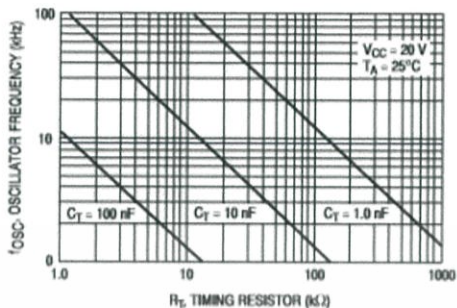


Figure 2. Oscillator Frequency versus Timing Resistor

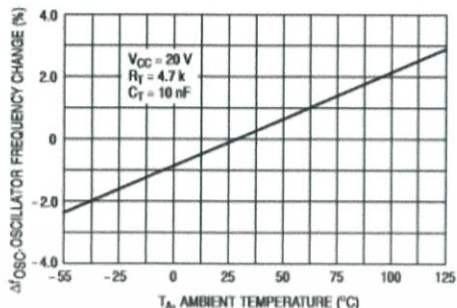


Figure 3. Oscillator Frequency Change versus Temperature

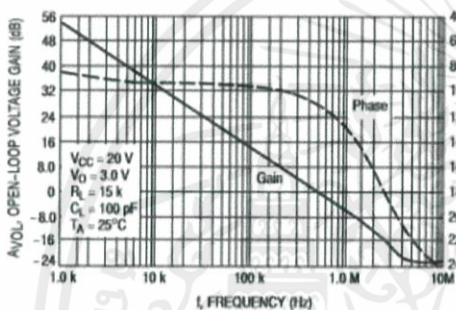


Figure 4. Error Amp Open Loop Gain and Phase versus Frequency

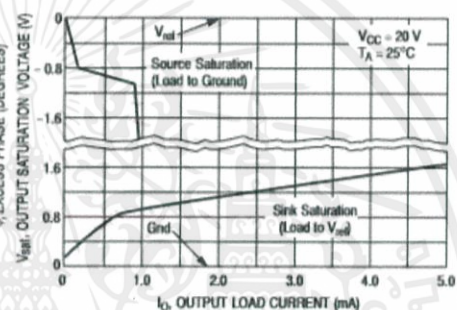


Figure 5. Error Amp Output Saturation Voltage versus Load Current

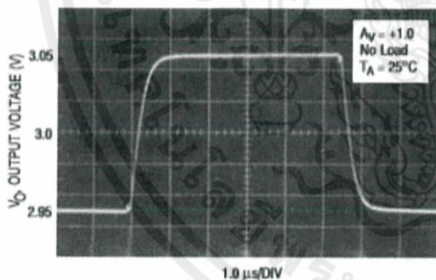


Figure 6. Error Amp Small-Signal Transient Response

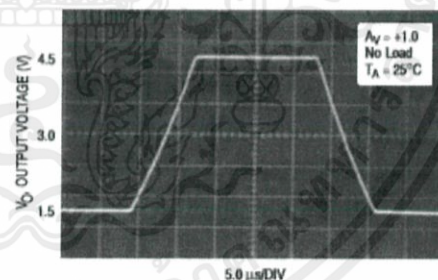


Figure 7. Error Amp Large-Signal Transient Response

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

MC33033, NCV33033

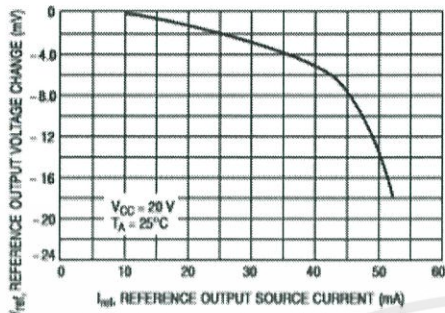


Figure 8. Reference Output Voltage Change versus Output Source Current

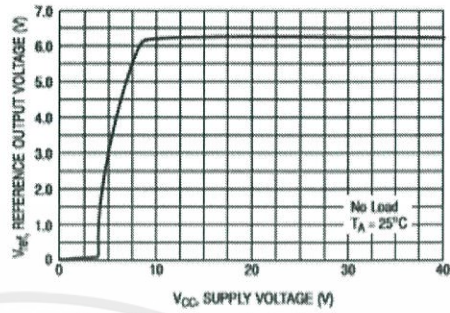


Figure 9. Reference Output Voltage versus Supply Voltage

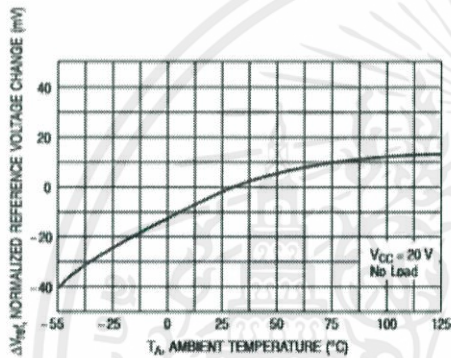


Figure 10. Reference Output Voltage versus Temperature

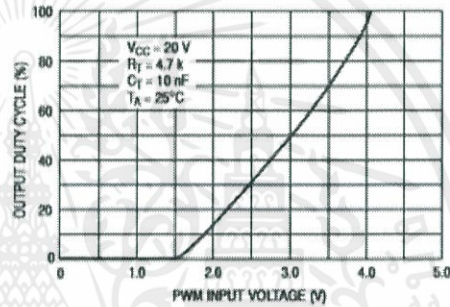


Figure 11. Output Duty Cycle versus PWM Input Voltage

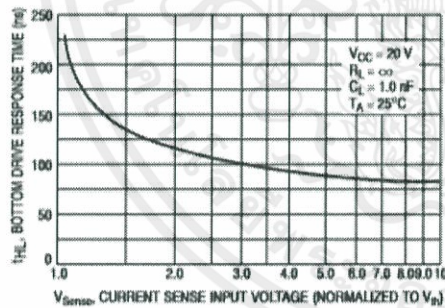


Figure 12. Bottom Drive Response Time versus Current Sense Input Voltage

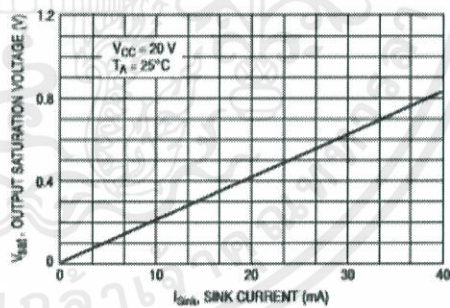


Figure 13. Top Drive Output Saturation Voltage versus Sink Current

MC33033, NCV33033

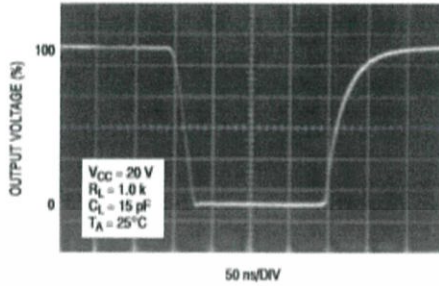


Figure 14. Top Drive Output Waveform

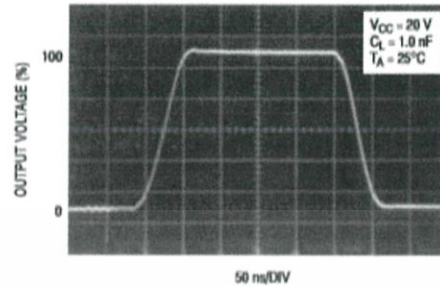


Figure 15. Bottom Drive Output Waveform

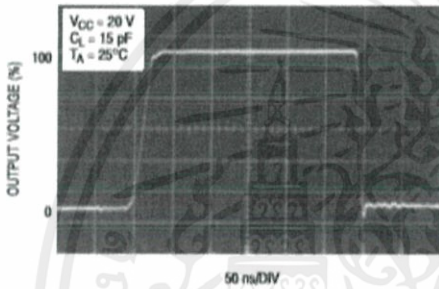


Figure 16. Bottom Drive Output Waveform

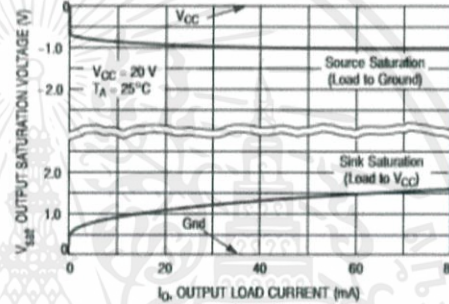


Figure 17. Bottom Drive Output Saturation Voltage versus Load Current

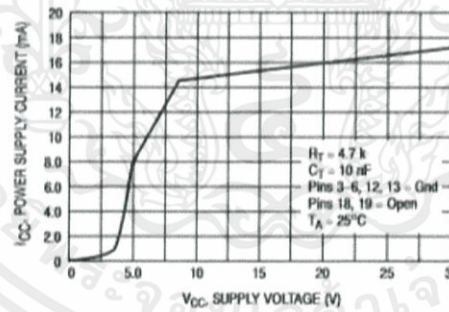


Figure 18. Supply Current versus Voltage

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

MC33033, NCV33033

PIN FUNCTION DESCRIPTION

Pin	Symbol	Description
1, 2, 20	B_T, A_T, C_T	These three open collector Top Drive Outputs are designed to drive the external upper power switch transistors.
3	Fwd/Rev	The Forward/Reverse Input is used to change the direction of motor rotation.
4, 5, 6	S_A, S_B, S_C	These three Sensor Inputs control the commutation sequence.
7	Reference Output	This output provides charging current for the oscillator timing capacitor C_T and a reference for the Error Amplifier. It may also serve to furnish sensor power.
8	Oscillator	The Oscillator frequency is programmed by the values selected for the timing components, R_T and C_T .
9	Error Amp Noninverting Input	This input is normally connected to the speed set potentiometer.
10	Error Amp Inverting Input	This input is normally connected to the Error Amp Output in open loop applications.
11	Error Amp Out/PWM Input	This pin is available for compensation in closed loop applications.
12	Current Sense Noninverting Input	A 100 mV signal, with respect to Pin 13, at this input terminates output switch conduction during a given oscillator cycle. This pin normally connects to the top side of the current sense resistor.
13	Gnd	This pin supplies a separate ground return for the control circuit and should be referenced back to the power source ground.
14	V_{CC}	This pin is the positive supply of the control IC. The controller is functional over a V_{CC} range of 10 to 30 V.
15, 16, 17	C_B, B_B, A_B	These three totem pole Bottom Drive Outputs are designed for direct drive of the external bottom power switch transistors.
18	60°/120° Select	The electrical state of this pin configures the control circuit operation for either 60° (high state) or 120° (low state) sensor electrical phasing inputs.
19	Output Enable	A logic high at this input causes the motor to run, while a low causes it to coast.

MC33033, NCV33033

INTRODUCTION

The MC33033 is one of a series of high performance monolithic dc brushless motor controllers produced by ON Semiconductor. It contains all of the functions required to implement a limited-feature, open loop, three or four phase motor control system. Constructed with Bipolar Analog technology, it offers a high degree of performance and ruggedness in hostile industrial environments. The MC33033 contains a rotor position decoder for proper commutation sequencing, a temperature compensated reference capable of supplying sensor power, a frequency programmable sawtooth oscillator, a fully accessible error amplifier, a pulse width modulator comparator, three open collector top drive outputs, and three high current totem pole bottom driver outputs ideally suited for driving power MOSFETs.

Included in the MC33033 are protective features consisting of undervoltage lockout, cycle-by-cycle current limiting with a latched shutdown mode, and internal thermal shutdown.

Typical motor control functions include open loop speed control, forward or reverse rotation, and run enable. In addition, the MC33033 has a $60^\circ/120^\circ$ select pin which configures the rotor position decoder for either 60° or 120° sensor electrical phasing inputs.

FUNCTIONAL DESCRIPTION

A representative internal block diagram is shown in Figure 19, with various applications shown in Figures 35, 37, 38, 42, 44, and 45. A discussion of the features and function of each of the internal blocks given below and referenced to Figures 19 and 37.

Rotor Position Decoder

An internal rotor position decoder monitors the three sensor inputs (Pins 4, 5, 6) to provide the proper sequencing of the top and bottom drive outputs. The Sensor Inputs are designed to interface directly with open collector type Hall Effect switches or opto slotted couplers. Internal pull-up resistors are included to minimize the required number of external components. The inputs are TTL compatible, with their thresholds typically at 2.2 V. The MC33033 series is designed to control three phase motors and operate with four of the most common conventions of sensor phasing. A $60^\circ/120^\circ$ Select (Pin 18) is conveniently provided which affords the MC33033 to configure itself to control motors having either 60° , 120° , 240° or 300° electrical sensor phasing. With three Sensor Inputs there are eight possible input code combinations, six of which are valid rotor positions. The remaining two codes are invalid and are usually caused by an open or shorted sensor line. With six valid input codes, the decoder can resolve the motor rotor position to within a window of 60 electrical degrees.

The Forward/Reverse input (Pin 3) is used to change the direction of motor rotation by reversing the voltage across the stator winding. When the input changes state, from high to low with a given sensor input code (for example 100), the enabled top and bottom drive outputs with the same alpha designation are exchanged (A_T to A_B , B_T to B_B , C_T to C_B). In effect the commutation sequence is reversed and the motor changes directional rotation.

Motor on/off control is accomplished by the Output Enable (Pin19). When left disconnected, an internal pull-up resistor to a positive source enables sequencing of the top and bottom drive outputs. When grounded, the Top Drive Outputs turn off and the bottom drives are forced low, causing the motor to coast.

The commutation logic truth table is shown in Figure 20. In half wave motor drive applications, the Top Drive Outputs are not required and are typically left disconnected.

Error Amplifier

A high performance, fully compensated Error Amplifier with access to both inputs and output (Pins 9, 10, 11) is provided to facilitate the implementation of closed loop motor speed control. The amplifier features a typical dc voltage gain of 80 dB, 0.6 MHz gain bandwidth, and a wide input common mode voltage range that extends from ground to V_{ref} . In most open loop speed control applications, the amplifier is configured as a unity gain voltage follower with the Noninverting Input connected to the speed set voltage source. Additional configurations are shown in Figures 30 through 34.

Oscillator

The frequency of the internal ramp oscillator is programmed by the values selected for timing components R_T and C_T . Capacitor C_T is charged from the Reference Output (Pin 7) through resistor R_T and discharged by an internal discharge transistor. The ramp peak and valley voltages are typically 4.1 V and 1.5 V respectively. To provide a good compromise between audible noise and output switching efficiency, an oscillator frequency in the range of 20 to 30 kHz is recommended. Refer to Figure 2 for component selection.

Pulse Width Modulator

The use of pulse width modulation provides an energy efficient method of controlling the motor speed by varying the average voltage applied to each stator winding during the commutation sequence. As C_T discharges, the oscillator sets both latches, allowing conduction of the Top and Bottom Drive Outputs. The PWM comparator resets the upper latch, terminating the Bottom Drive Output conduction when the positive-going ramp of C_T becomes greater than the Error Amplifier output. The pulse width modulator timing diagram is shown in Figure 21. Pulse width modulation for speed control appears only at the Bottom Drive Outputs.

MC33033, NCV33033

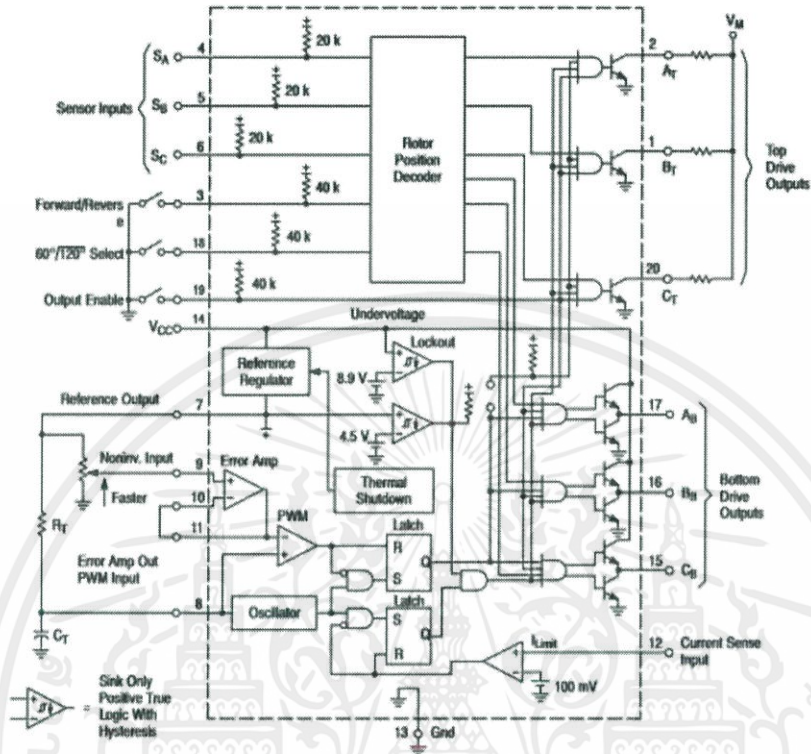


Figure 19. Representative Block Diagram

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

MC33033, NCV33033

Inputs (Note 2)						Outputs (Note 3)									
Sensor Electrical Phasing (Note 4)						Current			Top Drives			Bottom Drives			
60°			120°			F/R	Enable	Sense	A _T	B _T	C _T	A _B	B _B	C _B	
S _A	S _B	S _C	S _A	S _B	S _C										
1	0	0	1	0	0	1	1	0	0	1	1	0	0	1	(Note 5) F/R = 1
1	1	0	1	1	0	1	1	0	1	0	1	0	0	1	
1	1	1	0	1	0	1	1	0	1	0	1	1	0	0	
0	1	1	0	1	1	1	1	0	1	1	0	1	0	0	
0	0	1	0	0	1	1	1	0	1	1	0	0	1	0	
0	0	0	1	0	1	1	1	0	0	1	1	0	1	0	
1	0	0	1	0	0	0	1	0	1	1	0	1	0	0	(Note 5) F/R = 0
1	1	0	1	1	0	0	1	0	1	1	0	0	1	0	
1	1	1	0	1	0	0	1	0	0	1	1	0	1	0	
0	1	1	0	1	1	0	1	0	0	1	1	0	0	1	
0	0	1	0	0	1	0	1	0	1	0	1	0	0	1	
0	0	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	1	0	0	
1	0	1	1	1	1	X	X	X	1	1	1	0	0	0	(Note 6)
0	1	0	0	0	0	X	X	X	1	1	1	0	0	0	
V	V	V	V	V	V	X	0	X	1	1	1	0	0	0	(Note 7)
V	V	V	V	V	V	X	1	1	1	1	1	0	0	0	(Note 8)

- NOTES: 1. V = Any one of six valid sensor or drive combinations.
 X = Don't care.
 2. The digital inputs (Pins 3, 4, 5, 6, 18, 19) are all TTL compatible. The current sense input (Pin 12) has a 100 mV threshold with respect to Pin 13. A logic 0 for this input is defined as < 85 mV, and a logic 1 is > 115 mV.
 3. The top drive outputs are open collector design and active in the low (0) state.
 4. With 60°/120° (Pin 18) in the high (1) state, configuration is for 60° sensor electrical phasing inputs. With Pin 18 in the low (0) state, configuration is for 120° sensor electrical phasing inputs.
 5. Valid 60° or 120° sensor combinations for corresponding valid top and bottom drive outputs.
 6. Invalid sensor inputs. All top and bottom drives are off.
 7. Valid sensor inputs with enable = 0. All top and bottom drives are off.
 8. Valid sensor inputs with enable and current sense = 1. All top and bottom drives are off.

Figure 20. Three Phase, Six Step Commutation Truth Table (Note 1)

Current Limit

Continuous operation of a motor that is severely over-loaded results in overheating and eventual failure. This destructive condition can best be prevented with the use of cycle-by-cycle current limiting. That is, each on-cycle is treated as a separate event. Cycle-by-cycle current limiting is accomplished by monitoring the stator current build-up each time an output switch conducts, and upon sensing an over current condition, immediately turning off the switch and holding it off for the remaining duration of oscillator ramp-up period. The stator current is converted to a voltage by inserting a ground-referenced sense resistor R_S (Figure 35) in series with the three bottom switch transistors (Q₄, Q₅, Q₆). The voltage developed across the sense resistor is monitored by the current sense input (Pin 12), and compared to the internal 100 mV reference. If the current sense threshold is exceeded, the comparator resets the lower latch and terminates output switch conduction. The value for the sense resistor is:

$$R_S = \frac{0.1}{I_{stator(max)}}$$

The dual-latch PWM configuration ensures that only one single output conduction pulse occurs during any given oscillator cycle, whether terminated by the output of the Error Amplifier or the current limit comparator.

Reference

The on-chip 6.25 V regulator (Pin 7) provides charging current for the oscillator timing capacitor, a reference for the Error Amplifier, and can supply 20 mA of current suitable for directly powering sensors in low voltage applications. In higher voltage applications it may become necessary to transfer the power dissipated by the regulator off the IC. This is easily accomplished with the addition of an external pass transistor as shown in Figure 22. A 6.25 V reference level was chosen to allow implementation of the simpler NPN circuit, where V_{ref} - V_{BE} exceeds the minimum voltage required by Hall Effect sensors over temperature. With proper transistor selection, and adequate heatsinking, up to one amp of load current can be obtained.

Undervoltage Lockout

A dual Undervoltage Lockout has been incorporated to prevent damage to the IC and the external power switch transistors. Under low power supply conditions, it guarantees that the IC and sensors are fully functional, and that there is sufficient Bottom Drive Output voltage. The positive power supply to the IC (V_{CC}) is monitored to a threshold of 8.9 V. This level ensures sufficient gate drive necessary to attain low R_{DS(on)} when interfacing with standard power MOSFET devices. When directly powering the Hall sensors from the reference, improper sensor

MC33033, NCV33033

operation can result if the reference output voltage should fall below 4.5 V. If one or both of the comparators detects an undervoltage condition, the top drives are turned off and the

Bottom Drive Outputs are held in a low state. Each of the comparators contain hysteresis to prevent oscillations when crossing their respective thresholds.

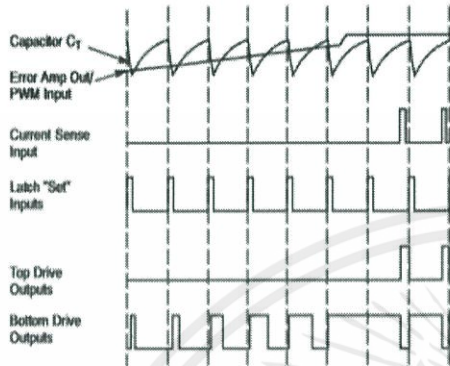
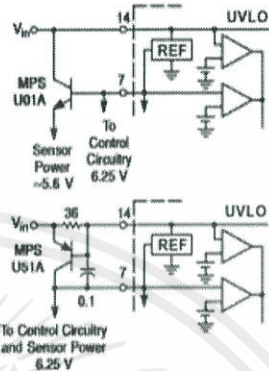
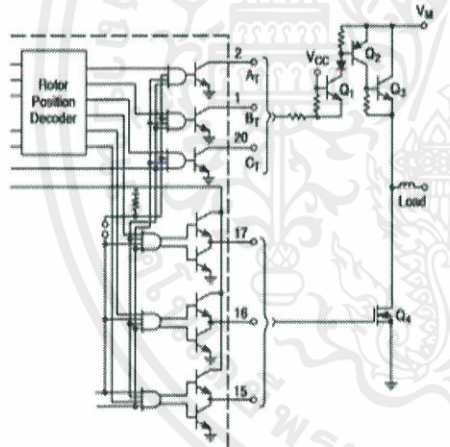


Figure 21. PWM Timing Diagram



The NPN circuit is recommended for powering Hall or opto sensors, where the output voltage temperature coefficient is not critical. The PNP circuit is slightly more complex, but also more accurate. Neither circuit has current limiting.

Figure 22. Reference Output Buffers



Transistor Q₃ is a common base stage used to level shift from V_{CC} to the high motor voltage, V_M. The collector diode is required if V_{CC} is present while V_M is low.

Figure 23. High Voltage Interface with NPN Power Transistors

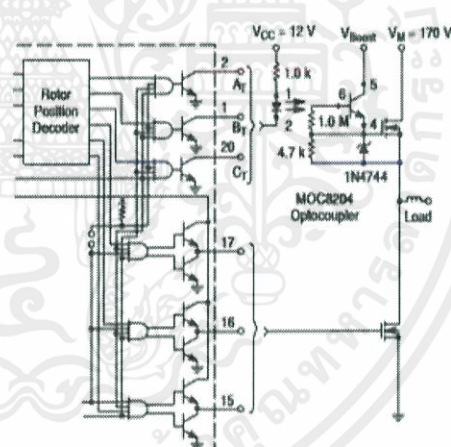
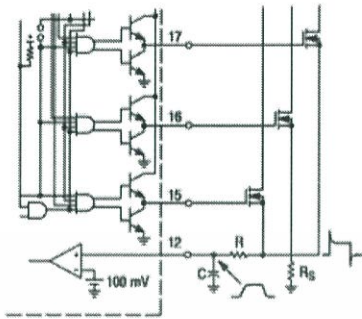


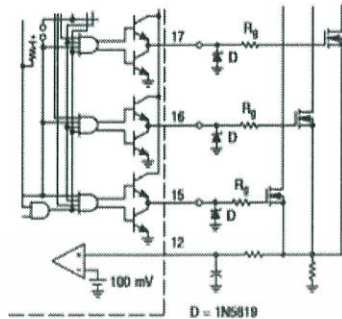
Figure 24. High Voltage Interface with N-Channel Power MOSFETs

MC33033, NCV33033



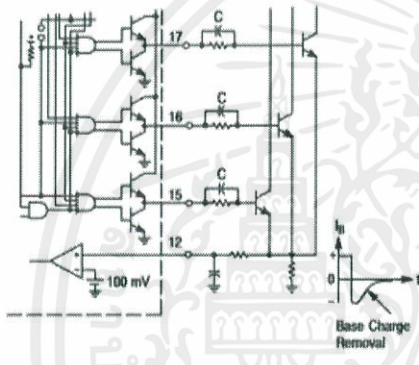
The addition of the RC filter will eliminate current-limit instability caused by the leading edge spike on the current waveform. Resistor R_g should be a low inductance type.

Figure 25. Current Waveform Spike Suppression



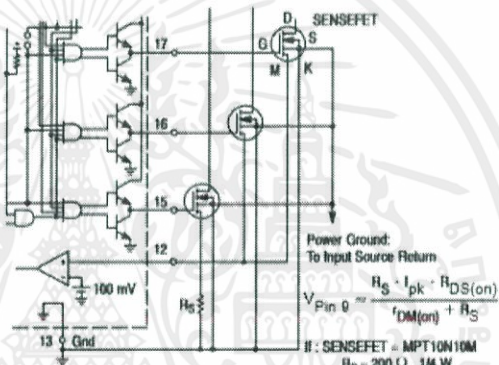
Series gate resistor R_g will damp any high frequency oscillations caused by the MOSFET input capacitance and any series wiring inductance in the gate-source circuit. Diode D is required if the negative current into the Bottom Drive Outputs exceeds 50 mA.

Figure 26. MOSFET Drive Precautions



The totem pole output can furnish negative base current for enhanced transistor turn-off, with the addition of capacitor C .

Figure 27. Bipolar Transistor Drive



Power Ground: To Input Source Return
 $V_{Pin 0} = \frac{R_S \cdot I_{pk} \cdot R_{DS(on)}}{R_{DS(on)} + R_S}$
 If: SENSEFET = MPT10N10M
 $R_S = 200 \Omega, 1/4 W$
 Then: $V_{Pin 0} = 0.75 I_{pk}$

Figure 28. Current Sensing Power MOSFETs

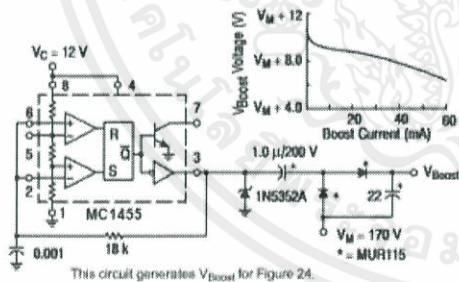


Figure 29. High Voltage Boost Supply

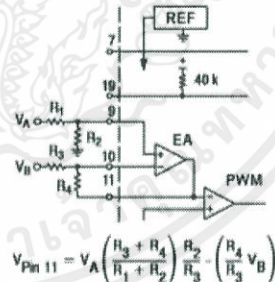
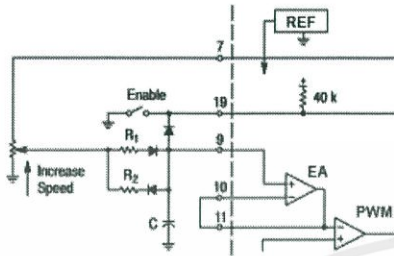


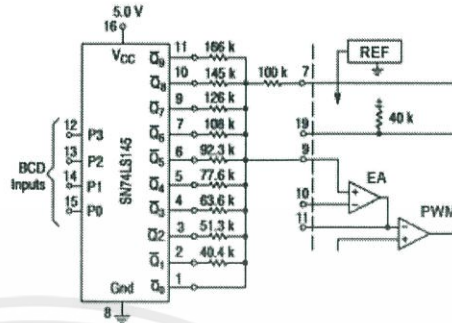
Figure 30. Differential Input Speed Controller

MC33033, NCV33033



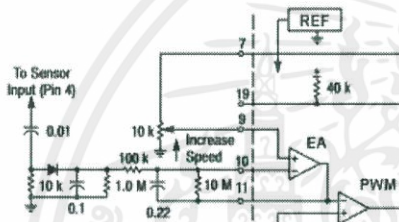
Resistor R₁ with capacitor C sets the acceleration time constant while R₂ controls the deceleration. The values of R₁ and R₂ should be at least ten times greater than the speed set potentiometer to minimize time constant variations with different speed settings.

Figure 31. Controlled Acceleration/Deceleration



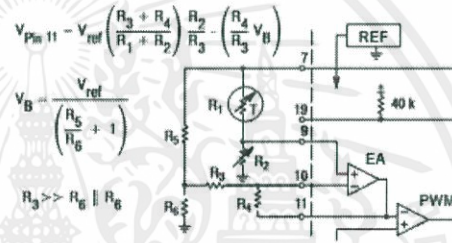
The SN74LS145 is an open collector BCD to One of Ten decoder. When connected as shown, input codes 0000 through 1001 steps the PWM in increments of approximately 10% from 0 to 100% on-time. Input codes 1010 through 1111 will produce 100% on-time or full motor speed.

Figure 32. Digital Speed Controller



The rotor position sensors can be used as a tachometer. By differentiating the positive-going edges and then integrating them over time, a voltage proportional to speed can be generated. The error amp compares this voltage to that of the speed set to control the PWM.

Figure 33. Closed Loop Speed Control



This circuit can control the speed of a cooling fan proportional to the difference between the sensor and set temperatures. The control loop is closed as the forced air cools the NTC thermistor. For controlled heating applications, exchange the positions of R₁ and R₂.

Figure 34. Closed Loop Temperature Control

Drive Outputs

The three Top Drive Outputs (Pins 1, 2, 20) are open collector NPN transistors capable of sinking 50 mA with a minimum breakdown of 30 V. Interfacing into higher voltage applications is easily accomplished with the circuits shown in Figures 23 and 24.

The three totem pole Bottom Drive Outputs (Pins 15, 16, 17) are particularly suited for direct drive of N-Channel MOSFETs or NPN bipolar transistors (Figures 25, 26, 27, and 28). Each output is capable of sourcing and sinking up to 100 mA.

Thermal Shutdown

Internal thermal shutdown circuitry is provided to protect the IC in the event the maximum junction temperature is exceeded. When activated, typically at 170°C, the IC acts as though the regulator was disabled, in turn shutting down the IC.

SYSTEM APPLICATIONS

Three Phase Motor Commutation

The three phase application shown in Figure 35 is an open loop motor controller with full wave, six step drive. The upper power switch transistors are Darlington PNP's while the lower switches are N-Channel power MOSFETs. Each of these devices contains an internal parasitic catch diode that is used to return the stator inductive energy back to the power supply. The outputs are capable of driving a delta or wye connected stator, and a grounded neutral wye if split supplies are used. At any given rotor position, only one top and one bottom power switch (of different totem poles) is enabled. This configuration switches both ends of the stator winding from supply to ground which causes the current flow to be bidirectional or full wave. A leading edge spike is usually present on the current waveform and can cause a current-limit error. The spike can be eliminated by adding

MC33033, NCV33033

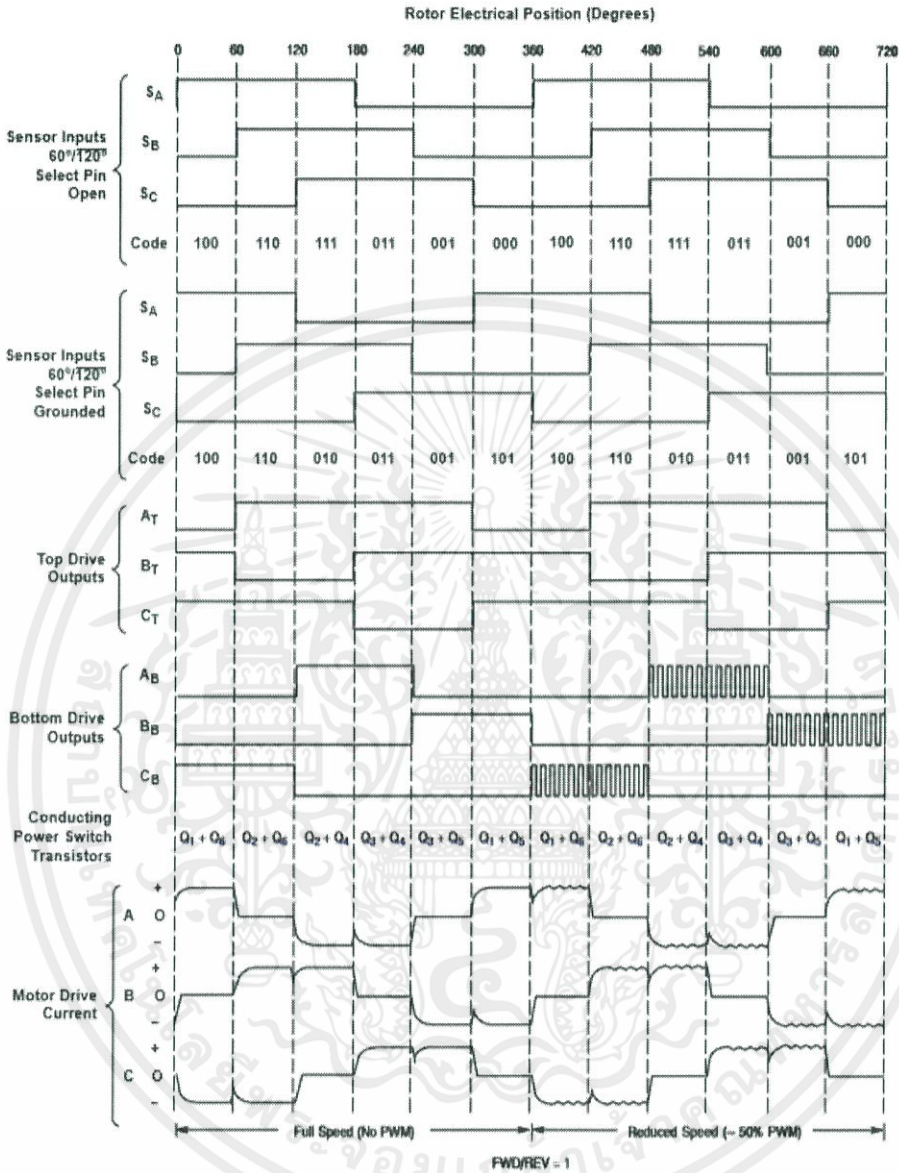


Figure 36. Three Phase, Six Step, Full Wave Commutation Waveforms

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

MC33033, NCV33033

Figure 37 shows a three phase, three step, half wave motor controller. This configuration is ideally suited for automobile and other low voltage applications since there is only one power switch voltage drop in series with a given

stator winding. Current flow is unidirectional or half wave because only one end of each winding is switched. The stator flyback voltage is clamped by a single zener and three diodes.

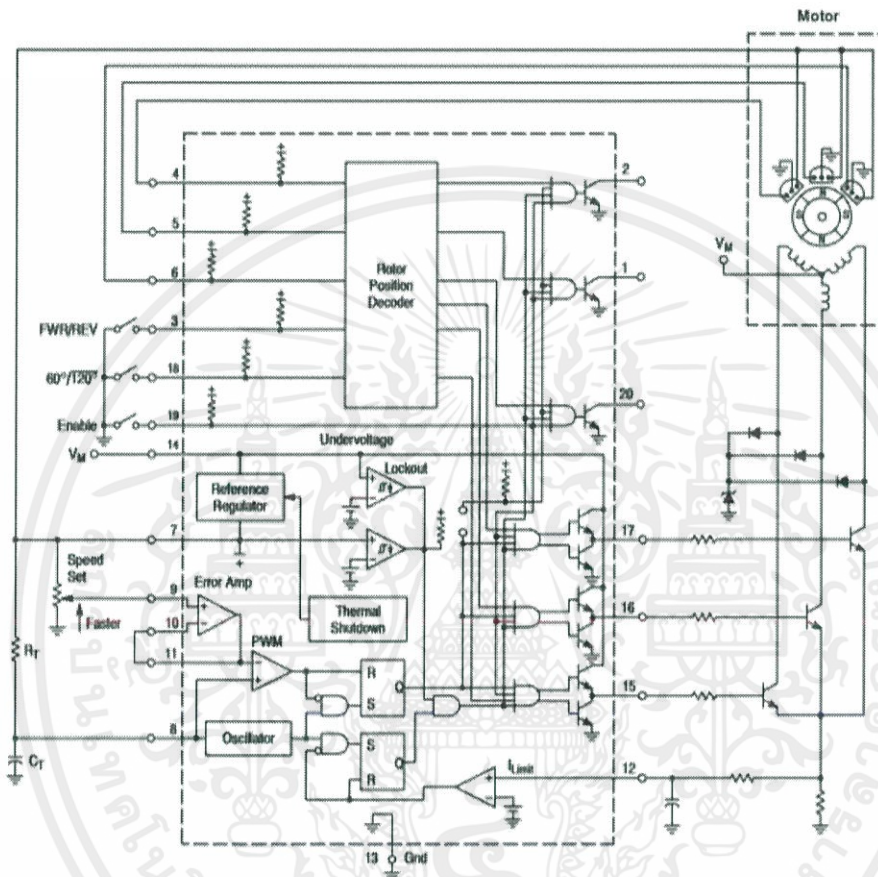


Figure 37. Three Phase, Three Step, Half Wave Motor Controller

MC33033, NCV33033

Three Phase Closed Loop Controller

The MC33033, by itself, is capable of open loop motor speed control. For closed loop speed control, the MC33033 requires an input voltage proportional to the motor speed. Traditionally this has been accomplished by means of a tachometer to generate the motor speed feedback voltage. Figure 38 shows an application whereby an MC33039, powered from the 6.25 V reference (Pin 7) of the MC33033, is used to generate the required feedback voltage without the need of a costly tachometer. The same Hall sensor signals used by the MC33033 for rotor position decoding are utilized by the MC33039. Every positive or negative going transition of the Hall sensor signals on any of the sensor lines causes the MC33039 to produce an output pulse of defined amplitude and time duration, as determined by the external resistor R_1 and capacitor C_1 . The resulting output train of

pulses present at Pin 5 of the MC33039 are integrated by the Error Amplifier of the MC33033 configured as an integrator, to produce a dc voltage level which is proportional to the motor speed. This speed proportional voltage establishes the PWM reference level at Pin 11 of the MC33033 motor controller and completes or closes the feedback loop. The MC33033 outputs drive a TMOS power MOSFET 3-phase bridge. High current can be expected during conditions of start-up and when changing direction of the motor.

The system shown in Figure 38 is designed for a motor having 120/240 degrees Hall sensor electrical phasing. The system can easily be modified to accommodate 60/300 degree Hall sensor electrical phasing by removing the jumper (J_1) at Pin 18 of the MC33033.

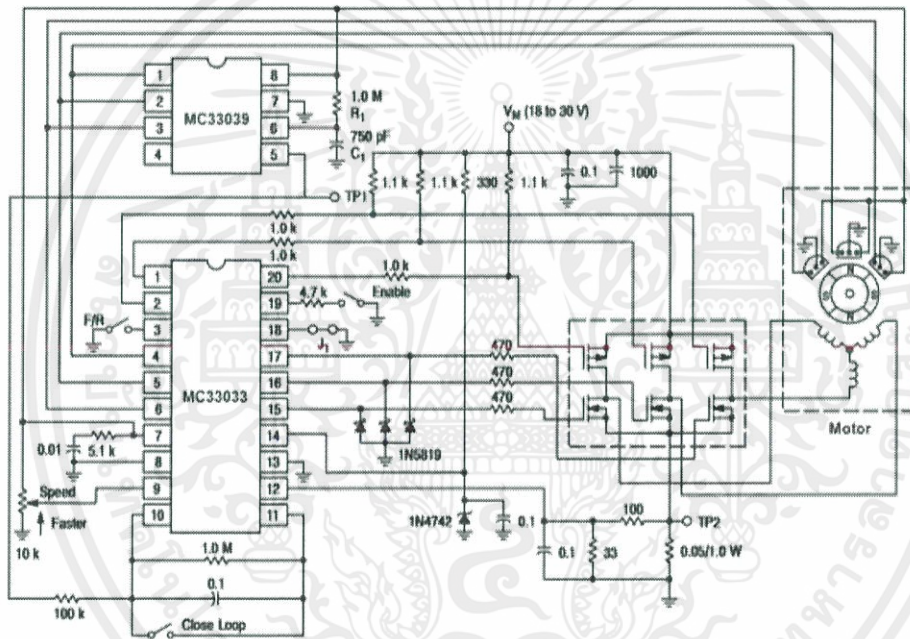


Figure 38. Closed Loop Brushless DC Motor Control With the MC33033 Using the MC33039

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

MC33033, NCV33033

Sensor Phasing Comparison

There are four conventions used to establish the relative phasing of the sensor signals in three phase motors. With six step drive, an input signal change must occur every 60 electrical degrees, however, the relative signal phasing is dependent upon the mechanical sensor placement. A comparison of the conventions in electrical degrees is shown in Figure 39. From the sensor phasing table (Figure 40), note that the order of input codes for 60° phasing is the reverse of 300°. This means the MC33033, when the 60°/120° select (Pin 18) and the FWD/REV (Pin 3) both in the high state (open), is configured to operate a 60° sensor phasing motor in the forward direction. Under the same conditions a 300° sensor phasing motor would operate equally well but in the reverse direction. One would simply have to reverse the FWD/REV switch (FWD/REV closed) in order to cause the 300° motor to also operate in the same direction. The same difference exists between the 120° and 240° conventions.

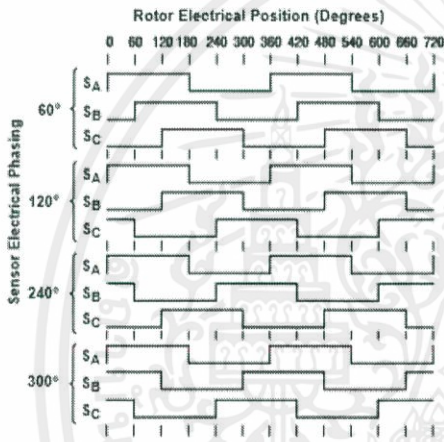


Figure 39. Sensor Phasing Comparison

Sensor Electrical Phasing (Degrees)											
60°			120°			240°			300°		
SA	SB	SC	SA	SB	SC	SA	SB	SC	SA	SB	SC
1	0	0	1	0	1	1	1	0	1	1	1
1	1	0	1	0	0	1	0	0	1	1	0
1	1	1	1	1	0	1	0	1	1	0	0
0	1	1	0	1	0	0	0	1	0	0	0
0	0	1	0	1	1	0	1	1	0	0	1
0	0	0	0	0	1	0	1	0	0	1	1

Figure 40. Sensor Phasing Table

In this data sheet, the rotor position has always been given in electrical degrees since the mechanical position is a function of the number of rotating magnetic poles. The relationship between the electrical and mechanical position is:

$$\text{Electrical Degrees} = \text{Mechanical Degrees} \left(\frac{\# \text{Rotor Poles}}{2} \right)$$

An increase in the number of magnetic poles causes more electrical revolutions for a given mechanical revolution. General purpose three phase motors typically contain a four pole rotor which yields two electrical revolutions for one mechanical.

Two and Four Phase Motor Commutation

The MC33033 configured for 60° sensor inputs is capable of providing a four step output that can be used to drive two or four phase motors. The truth table in Figure 41 shows that by connecting sensor inputs SB and SC together, it is possible to truncate the number of drive output states from six to four. The output power switches are connected to BT, CT, BB, and CB. Figure 42 shows a four phase, four step, full wave motor control application. Power switch transistors Q1 through Q3 are Darlington type, each with an internal parasitic catch diode. With four step drive, only two rotor position sensors spaced at 90 electrical degrees are required. The commutation waveforms are shown in Figure 43.

Figure 44 shows a four phase, four step, half wave motor controller. It has the same features as the circuit in Figure 37, except for the deletion of speed adjust.

MC33033 (60°/120° Select Pin Open)						
Inputs			Outputs			
Sensor Electrical Spacing* = 90°			Top Drives		Bottom Drives	
SA	SB	F/R	BT	CT	BB	CB
1	0	1	1	1	0	1
1	1	1	0	1	0	0
0	1	1	1	0	0	0
0	0	1	1	1	1	0
1	0	0	1	0	0	0
1	1	0	1	1	1	0
0	1	0	1	1	0	1
0	0	0	0	1	0	0

*With MC33033 sensor input SB connected to SC

Figure 41. Two and Four Phase, Four Step, Commutation Truth Table

MC33033, NCV33033

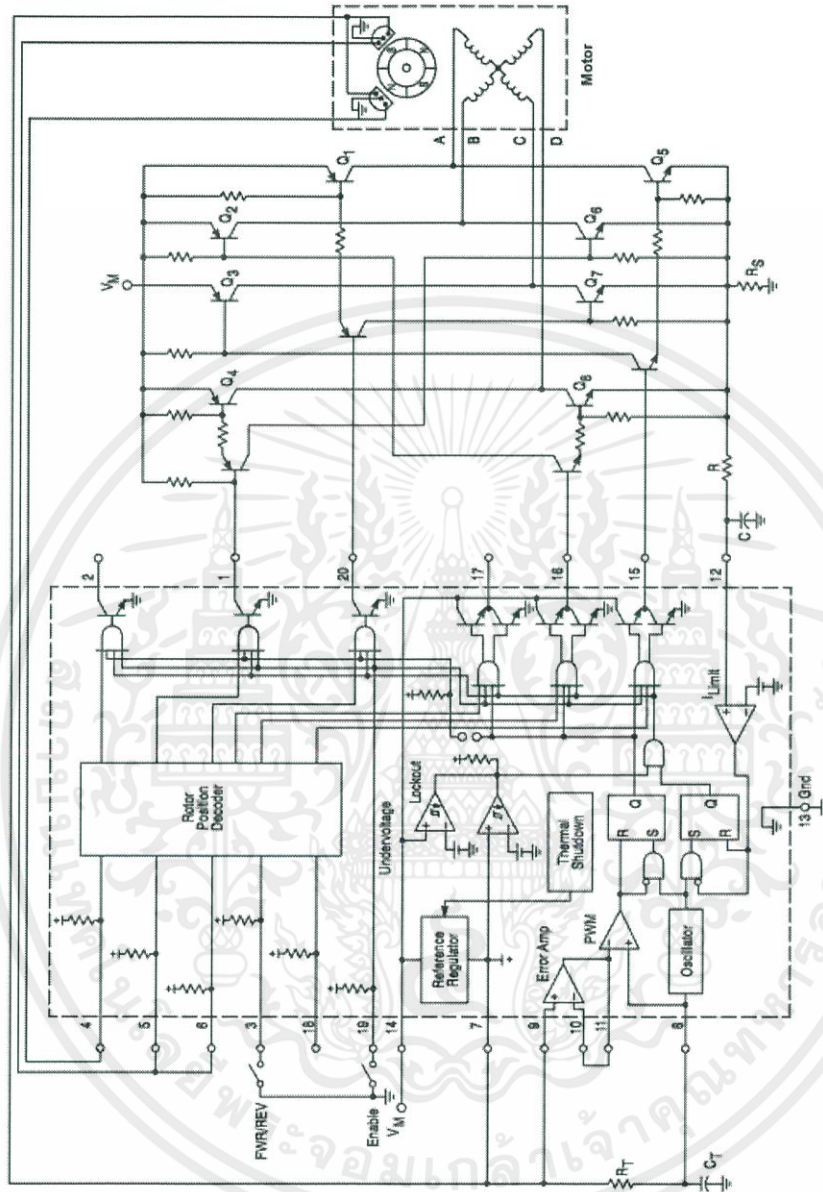


Figure 42. Four Phase, Four Step, Full Wave Controller

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

MC33033, NCV33033

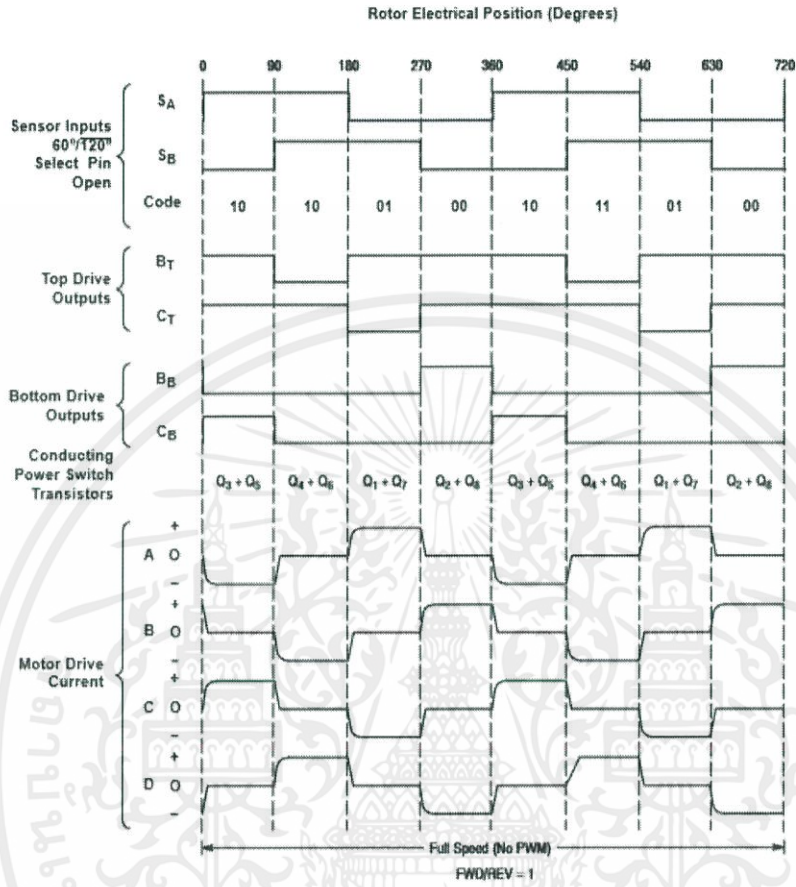


Figure 43. Four Phase, Four Step, Full Wave Commutation Waveforms

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

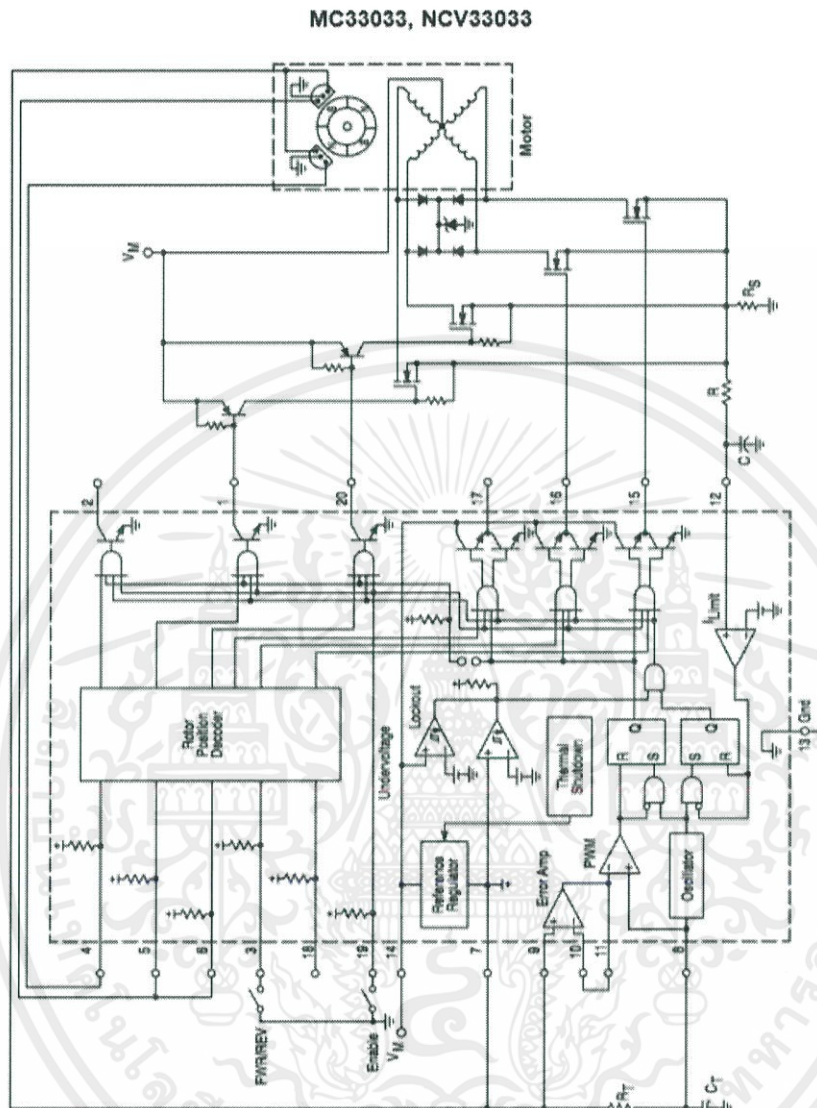


Figure 44. Four Phase, Four Step, Half Wave Motor Controller

MC33033, NCV33033

Brush Motor Control

Though the MC33033 was designed to control brushless dc motors, it may also be used to control dc brush-type motors. Figure 45 shows an application of the MC33033 driving a H-bridge affording minimal parts count to operate a brush-type motor. Key to the operation is the input sensor code [100] which produces a top-left (Q_1) and a bottom-right (Q_3) drive when the controller's Forward/Reverse pin is at logic [1]; top-right (Q_4), bottom-left (Q_2) drive is realized when the Forward/Reverse pin is at logic [0]. This code supports the requirements necessary for H-bridge drive accomplishing both direction and speed control.

The controller functions in a normal manner with a pulse width modulated frequency of approximately 25 kHz. Motor speed is controlled by adjusting the voltage presented to the noninverting input of the Error Amplifier establishing the PWM's slice or reference level. Cycle-by-cycle current limiting of the motor current is accomplished by sensing the voltage (100 mV threshold) across the R_S resistor to ground of the H-bridge motor current. The over current sense circuit makes it possible to reverse the direction of the motor, on the

fly, using the normal Forward/Reverse switch, and not have to completely stop before reversing.

LAYOUT CONSIDERATIONS

Do not attempt to construct any of the motor control circuits on wire-wrap or plug-in prototype boards. High frequency printed circuit layout techniques are imperative to prevent pulse jitter. This is usually caused by excessive noise pick-up imposed on the current sense or error amp inputs. The printed circuit layout should contain a ground plane with low current signal and high drive and output buffer grounds returning on separate paths back to the power supply input filter capacitor V_M . Ceramic bypass capacitors (0.01 μ F) connected close to the integrated circuit at V_{CC} , V_{ref} and error amplifier noninverting input may be required depending upon circuit layout. This provides a low impedance path for filtering any high frequency noise. All high current loops should be kept as short as possible using heavy copper runs to minimize radiated EMI.

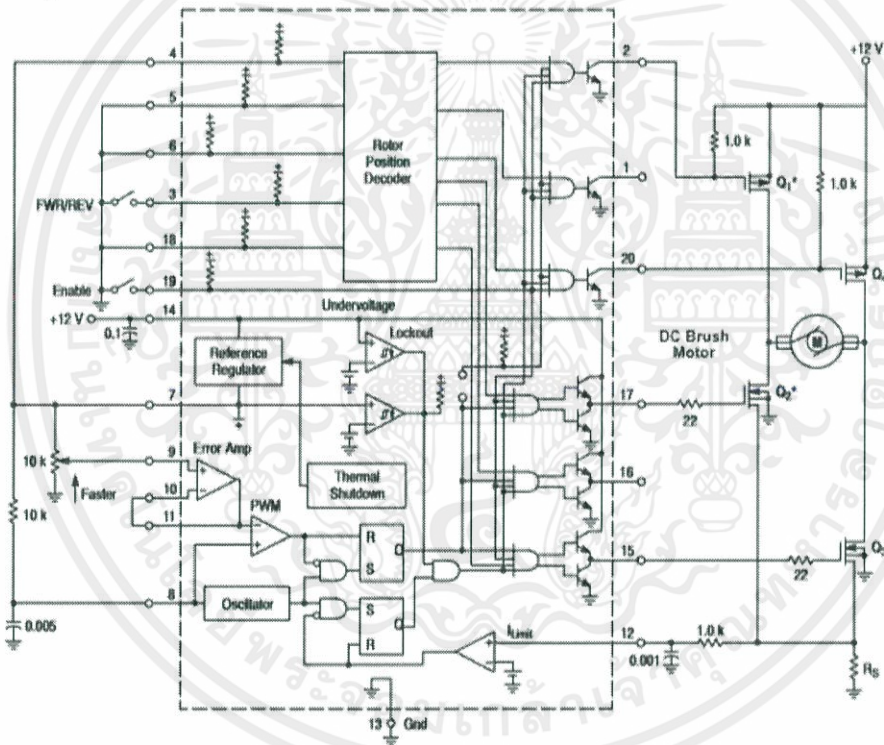


Figure 45. H-Bridge Brush-Type Controller

MC33033, NCV33033

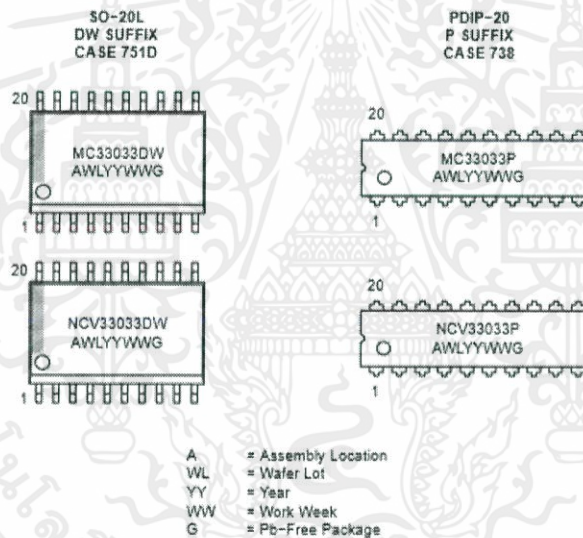
ORDERING INFORMATION

Device	Operating Temperature Range	Package	Shipping [†]
MC33033DW	$T_A = -40^\circ\text{C}$ to $+85^\circ\text{C}$	SO-20L	38 Units / Rail
MC33033DWG		SO-20L (Pb-Free)	
MC33033DWR2		SO-20L	1000 Tape & Reel
MC33033DWR2G		SO-20L (Pb-Free)	
MC33033P		PDIP-20	18 Units / Rail
MC33033PG	PDIP-20 (Pb-Free)		
NCV33033DWR2*	$T_A = -40^\circ\text{C}$ to $+125^\circ\text{C}$	SO-20L	1000 Tape & Reel
NCV33033DWR2G*		SO-20L (Pb-Free)	

[†]For information on tape and reel specifications, including part orientation and tape sizes, please refer to our Tape and Reel Packaging Specification Brochure, BRD8011/D.

*NCV33033: $T_{low} = -40^\circ\text{C}$, $T_{high} = +125^\circ\text{C}$. Guaranteed by design. NCV prefix is for automotive and other applications requiring site and change control.

MARKING DIAGRAMS



<http://onsemi.com>

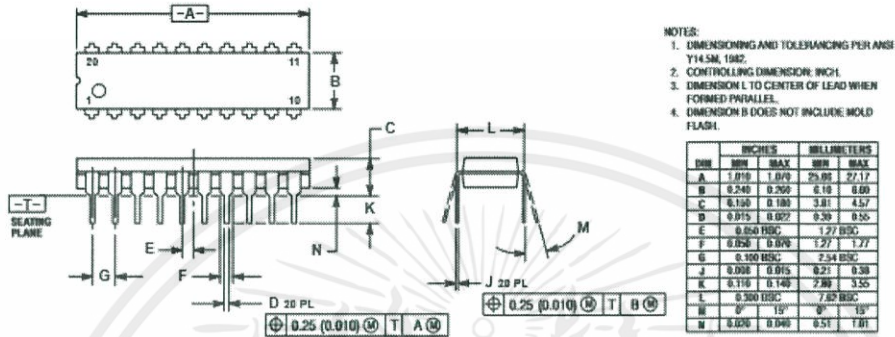
25

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

MC33033, NCV33033

PACKAGE DIMENSIONS

PDIP-20
P SUFFIX
CASE 738-03
ISSUE E

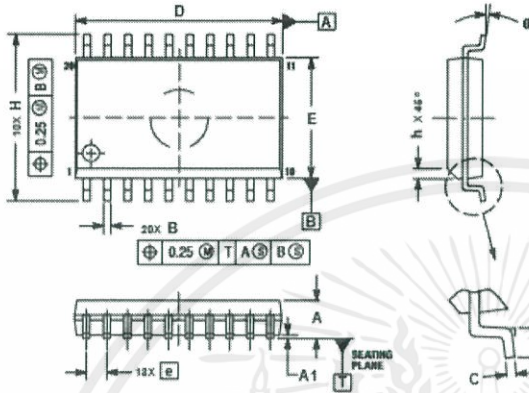


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

MC33033, NCV33033

PACKAGE DIMENSIONS

SO-20L
DW SUFFIX
CASE 751D-05
ISSUE G



- NOTES:
1. DIMENSIONS ARE IN MILLIMETERS.
 2. INTERPRET DIMENSIONS AND TOLERANCES PER ASME Y14.5M 1994.
 3. DIMENSIONS D AND E DO NOT INCLUDE MOLD PROTRUSION.
 4. MAXIMUM MOLD PROTRUSION 0.15 PER SIDE.
 5. DIMENSION B DOES NOT INCLUDE STANDARD PROTRUSION. ALLOWABLE PROTRUSION SHALL BE 0.13 TOTAL IN EXCESS OF B DIMENSION AT MAXIMUM MATERIAL CONDITION.

MILLIMETERS		
MIN	NOM	MAX
A	2.25	2.00
A1	0.10	0.25
B	0.35	0.40
C	0.25	0.32
D	17.65	17.65
E	7.40	7.60
e	1.27 (50C)	
H	10.16	10.30
h	0.25	0.75
L	0.50	0.80
theta	0°	7°

ON Semiconductor and are registered trademarks of Semiconductor Components Industries, LLC (SCILLC). SCILLC reserves the right to make changes without further notice to any products herein. SCILLC makes no warranty, representation or guarantee regarding the suitability of its products for any particular purpose, nor does SCILLC assume any liability arising out of the application or use of any product or circuit, and specifically disclaims any and all liability, including without limitation special, consequential or incidental damages. "Typical" parameters which may be provided in SCILLC data sheets and/or specifications can and do vary in different applications and actual performance may vary over time. All operating parameters, including "Typicals" must be validated for each customer application by customer's technical experts. SCILLC does not convey any license under its patent rights nor the rights of others. SCILLC products are not designed, intended, or authorized for use as components in systems intended for surgical implant into the body, or other applications intended to support or sustain life, or for any other application in which the failure of the SCILLC product could create a situation where personal injury or death may occur. Should Buyer purchase or use SCILLC products for any such unintended or unauthorized application, Buyer shall indemnify and hold SCILLC and its officers, employees, subsidiaries, affiliates, and distributors harmless against all claims, costs, damages, and expenses, and reasonable attorney fees arising out of, directly or indirectly, any claim of personal injury or death associated with such unintended or unauthorized use, even if such claim alleges that SCILLC was negligent regarding the design or manufacture of the part. SCILLC is an Equal Opportunity/Affirmative Action Employer. This literature is subject to all applicable copyright laws and is not for resale in any manner.

PUBLICATION ORDERING INFORMATION

LITERATURE FULFILLMENT
Literature Distribution Center for ON Semiconductor
P.O. Box 5163, Denver, Colorado 80217 USA
Phone: 303-675-2175 or 800-344-3860 Toll Free USA/Canada
Fax: 303-675-2176 or 800-344-3867 Toll Free USA/Canada
Email: orderlit@onsemi.com

U.S. American Technical Support: 800-282-9855 Toll Free USA/Canada
Europe, Middle East and Africa Technical Support: Phone: 421 33 760 2910
Japan Customer Focus Center Phone: 81-3-5773-3850

ON Semiconductor Website: www.onsemi.com
Order Literature: <http://www.onsemi.com/orderlit>

For additional information, please contact your local Sales Representative

MC33033/D

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

TLP250

Transistor Inverter
 Inverter For Air Conditionor
 IGBT Gate Drive
 Power MOS FET Gate Drive

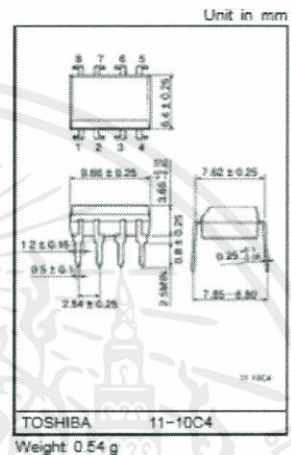
The TOSHIBA TLP250 consists of a GaAlAs light emitting diode and a integrated photodetector.
 This unit is 8-lead DIP package.
 TLP250 is suitable for gate driving circuit of IGBT or power MOS FET.

- Input threshold current: $I_F=5mA(max.)$
- Supply current (I_{CC}): $11mA(max.)$
- Supply voltage (V_{CC}): 10-35V
- Output current (I_O): $\pm 1.5A (max.)$
- Switching time (t_{pLH}/t_{pHL}): $1.5\mu s(max.)$
- Isolation voltage: $2500V_{rms}(min.)$
- UL recognized: UL1577, file No.E67349

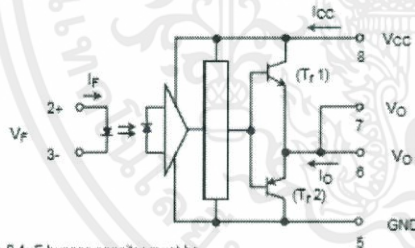
- Option (D4) type
 VDE approved: DIN VDE0884/06.92,certificate No.76823
 Maximum operating insulation voltage: 630V_{PK}
 Highest permissible over voltage: 4000V_{PK}

(Note) When a VDE0884 approved type is needed, please designate the "option (D4)"

- Creepage distance: 6.4mm(min.)
 Clearance: 6.4mm(min.)

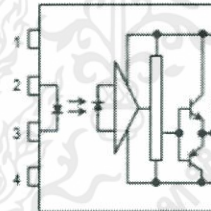


Schematic



A 0.1μF bypass capcitor must be connected between pin 8 and 5 (See Note 5).

Pin Configuration (top view)



- 1 : N.C.
- 2 : Anode
- 3 : Cathode
- 4 : N.C.
- 5 : GND
- 6 : V_O (Output)
- 7 : V_O
- 8 : V_{CC}

Truth Table

	Tr1	Tr2
Input LED On	On	Off
Input LED Off	Off	On

TOSHIBA

TLP250

Absolute Maximum Ratings (Ta = 25°C)

Characteristic		Symbol	Rating	Unit	
LED	Forward current	I_F	20	mA	
	Forward current derating (Ta ≥ 70°C)	$\Delta I_F / \Delta T_a$	-0.36	mA / °C	
	Peak transient forward current (Note 1)	I_{FPT}	1	A	
	Reverse voltage	V_R	5	V	
	Junction temperature	T_J	125	°C	
Detector	"H" peak output current ($P_{VY} \leq 2.5\mu s, f \leq 15\text{kHz}$) (Note 2)	I_{OPH}	-1.5	A	
	"L" peak output current ($P_{VY} \leq 2.5\mu s, f \leq 15\text{kHz}$) (Note 2)	I_{OPL}	+1.5	A	
	Output voltage	(Ta ≤ 70°C)	V_O	35	V
		(Ta ≤ 85°C)		24	
	Supply voltage	(Ta ≤ 70°C)	V_{CC}	35	V
		(Ta ≤ 85°C)		24	
	Output voltage derating (Ta ≥ 70°C)	$\Delta V_O / \Delta T_a$	-0.73	V / °C	
	Supply voltage derating (Ta ≥ 70°C)	$\Delta V_{CC} / \Delta T_a$	-0.73	V / °C	
	Junction temperature	T_J	125	°C	
	Operating frequency (Note 3)	f	25	kHz	
Operating temperature range	T_{opr}	-20-85	°C		
Storage temperature range	T_{stg}	-55-125	°C		
Lead soldering temperature (10 s) (Note 4)	T_{sol}	260	°C		
Isolation voltage (AC, 1 min., R.H. ≤ 60%) (Note 5)	EV_S	2500	Vrms		

Note 1: Pulse width $P_{VY} \leq 1\mu s, 300\text{pps}$

Note 2: Exponential waveform

Note 3: Exponential waveform, $I_{OPH} \leq -1.0A (\leq 2.5\mu s), I_{OPL} \leq +1.0A (\leq 2.5\mu s)$

Note 4: It is 2 mm or more from a lead root.

Note 5: Device considered a two terminal device: Pins 1, 2, 3 and 4 shorted together, and pins 5, 6, 7 and 8 shorted together.

Note 6: A ceramic capacitor(0.1μF) should be connected from pin 8 to pin 5 to stabilize the operation of the high gain linear amplifier. Failure to provide the bypassing may impair the switching property. The total lead length between capacitor and coupler should not exceed 1cm.

Recommended Operating Conditions

Characteristic	Symbol	Min.	Typ.	Max.	Unit
Input current, on (Note 7)	$I_{F(ON)}$	7	8	10	mA
Input voltage, off	$V_{F(OFF)}$	0	—	0.8	V
Supply voltage	V_{CC}	15	—	30, 20	V
Peak output current	I_{OPH}/I_{OPL}	—	—	±0.5	A
Operating temperature	T_{opr}	-20	25	70, 85	°C

Note 7: Input signal rise time (fall time) < 0.5 μs

TOSHIBA

TLP250

Electrical Characteristics (Ta = -20~70°C, unless otherwise specified)

Characteristic	Symbol	Test Cir-cut	Test Condition	Min.	Typ.*	Max.	Unit	
Input forward voltage	V _F	—	I _F = 10 mA, Ta = 25°C	—	1.6	1.8	V	
Temperature coefficient of forward voltage	ΔV _F / ΔTa	—	I _F = 10 mA	—	-2.0	—	mV / °C	
Input reverse current	I _R	—	V _R = 5V, Ta = 25°C	—	—	10	μA	
Input capacitance	C _T	—	V = 0, f = 1MHz, Ta = 25°C	—	45	250	pF	
Output current	"H" level	I _{OPH}	3	V _{CC} = 30V (*1)	I _F = 10 mA V _{S-6} = 4V	-0.5	-1.5	A
	"L" level	I _{OPL}	2		I _F = 0 V _{S-6} = 2.5V	0.5	2	
Output voltage	"H" level	V _{OH}	4	V _{CC1} = +15V, V _{EE1} = -15V R _L = 200Ω, I _F = 5mA	11	12.8	—	V
	"L" level	V _{OL}	5	V _{CC1} = +15V, V _{EE1} = -15V R _L = 200Ω, V _F = 0.8V	—	-14.2	-12.5	
Supply current	"H" level	I _{CCH}	—	V _{CC} = 30V, I _F = 10mA Ta = 25°C	—	7	—	mA
	"H" level	I _{CC1}	—	V _{CC} = 30V, I _F = 10mA	—	—	11	
	"L" level	I _{CCL}	—	V _{CC} = 30V, I _F = 0mA Ta = 25°C	—	7.5	—	
Threshold input current	"Output L→H"	I _{FLH}	—	V _{CC1} = +15V, V _{EE1} = -15V R _L = 200Ω, V _O > 0V	—	1.2	5	mA
Threshold input voltage	"Output H→L"	I _{FHL}	—	V _{CC1} = +15V, V _{EE1} = -15V R _L = 200Ω, V _O < 0V	0.8	—	—	V
Supply voltage	V _{CC}	—	—	10	—	35	V	
Capacitance (input-output)	C _S	—	V _S = 0, f = 1MHz Ta = 25°C	—	1.0	2.0	pF	
Resistance(input-output)	R _S	—	V _S = 500V, Ta = 25°C R _H ≤ 80%	1×10 ¹²	10 ¹⁴	—	Ω	

* All typical values are at Ta = 25°C. (*1): Duration of I_O time ≤ 50μs

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

TOSHIBA

TLP250

Switching Characteristics (Ta = -20~70°C, unless otherwise specified)

Characteristic	Symbol	Test Cir-cuit	Test Condition	Min.	Typ.*	Max.	Unit
Propagation delay time	L→H	t _{PLH}	I _F = 8mA (Note 7) V _{CC1} = +15V, V _{EE1} = -15V R _L = 200Ω	—	0.15	0.5	μs
	H→L	t _{PHL}		—	0.15	0.5	
Output rise time	t _r	6		—	—	—	
Output fall time	t _f			—	—	—	
Common mode transient immunity at high level output	C _{MH}	7	V _{CM} = 600V, I _F = 8mA V _{CC} = 30V, Ta = 25°C	-5000	—	—	V / μs
Common mode transient immunity at low level output	C _{ML}	7	V _{CM} = 600V, I _F = 0mA V _{CC} = 30V, Ta = 25°C	5000	—	—	V / μs

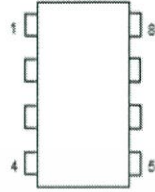
* All typical values are at Ta = 25°C

Note 7: Input signal rise time (fall time) < 0.5 μs.

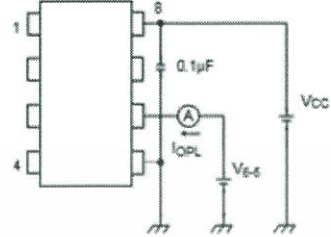


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

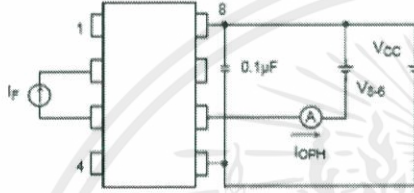
Test Circuit 1 :



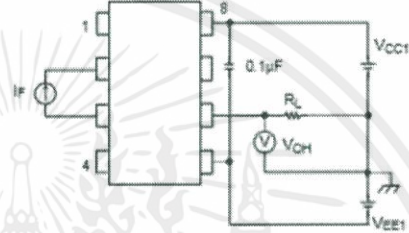
Test Circuit 2 : IOPL



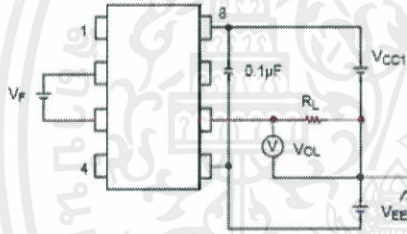
Test Circuit 3 : IOPH



Test Circuit 4 : VOH



Test Circuit 5 : VOL

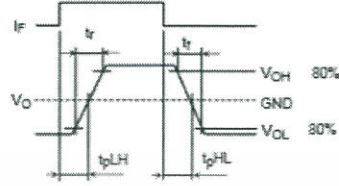
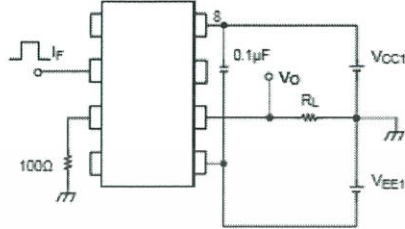


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

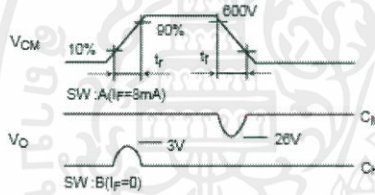
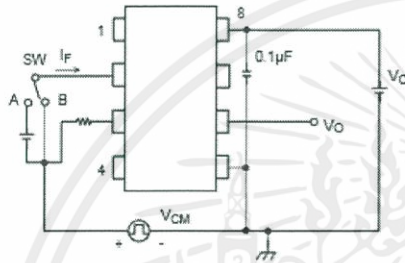
TOSHIBA

TLP250

Test Circuit 6: t_{pLH} , t_{pHL} , t_r , t_f



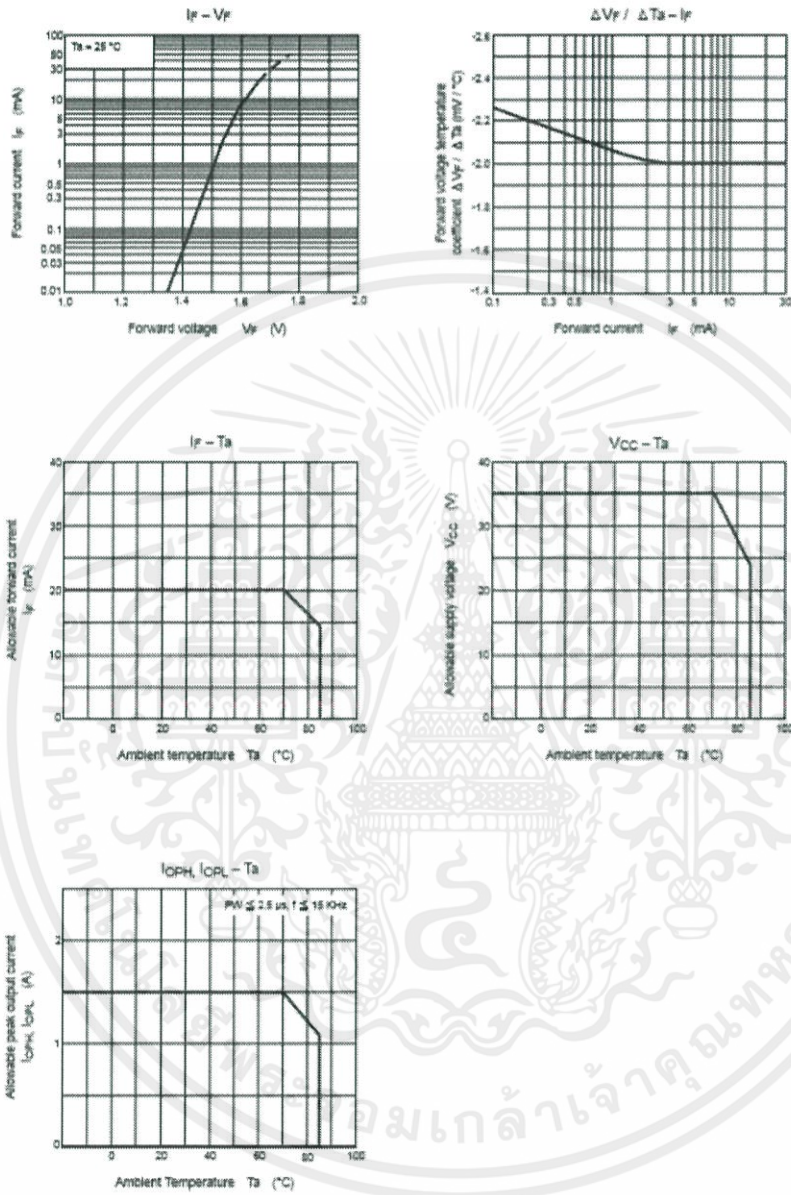
Test Circuit 7: C_{MH} , C_{ML}



$C_{ML} - 480 (V)$
 $t_r (\mu s)$
 $C_{MH} - 480 (V)$
 $t_f (\mu s)$

$C_{ML}(C_{MH})$ is the maximum rate of rise (fall) of the common mode voltage that can be sustained with the output voltage in the low (high) state.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

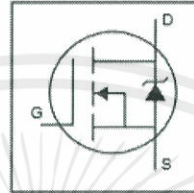
International
IR Rectifier

PD-91279E

IRF3205

HEXFET® Power MOSFET

- Advanced Process Technology
- Ultra Low On-Resistance
- Dynamic dv/dt Rating
- 175°C Operating Temperature
- Fast Switching
- Fully Avalanche Rated



$$V_{DS} = 55V$$

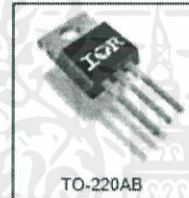
$$R_{DS(on)} = 8.0m\Omega$$

$$I_D = 110A^{\text{①}}$$

Description

Advanced HEXFET® Power MOSFETs from International Rectifier utilize advanced processing techniques to achieve extremely low on-resistance per silicon area. This benefit, combined with the fast switching speed and ruggedized device design that HEXFET power MOSFETs are well known for, provides the designer with an extremely efficient and reliable device for use in a wide variety of applications.

The TO-220 package is universally preferred for all commercial-industrial applications at power dissipation levels to approximately 50 watts. The low thermal resistance and low package cost of the TO-220 contribute to its wide acceptance throughout the industry.



TO-220AB

Absolute Maximum Ratings

	Parameter	Max.	Units
I_D @ $T_C = 25^\circ\text{C}$	Continuous Drain Current, $V_{GS} @ 10V$	110 ①	A
I_D @ $T_C = 100^\circ\text{C}$	Continuous Drain Current, $V_{GS} @ 10V$	80	A
I_{DM}	Pulsed Drain Current ②	390	A
P_D @ $T_C = 25^\circ\text{C}$	Power Dissipation	200	W
	Linear Derating Factor	1.3	W/°C
V_{GS}	Gate-to-Source Voltage	± 20	V
I_{AR}	Avalanche Current ③	62	A
E_{AR}	Repetitive Avalanche Energy ④	20	mJ
dv/dt	Peak Diode Recovery dv/dt ⑤	5.0	V/ns
T_J	Operating Junction and	-55 to +175	°C
T_{STG}	Storage Temperature Range		
	Soldering Temperature, for 10 seconds	300 (1.0mm from case)	
	Mounting torque, 6-32 or M3 screw	10 lbf-in (1.1N-m)	

Thermal Resistance

	Parameter	Typ.	Max.	Units
$R_{\theta JC}$	Junction-to-Case	—	0.75	°C/W
$R_{\theta CS}$	Case-to-Sink, Flat, Greased Surface	0.50	—	
$R_{\theta JA}$	Junction-to-Ambient	—	62	

www.irf.com

1

01/25/01

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

IRF3205



Electrical Characteristics @ T_J = 25°C (unless otherwise specified)

Parameter	Min.	Typ.	Max.	Units	Conditions
V _{(BR)DSS}	55	—	—	V	V _{GS} = 0V, I _D = 250μA
dV _{(BR)DSS} /dT _J	—	0.057	—	V/°C	Reference to 25°C, I _D = 1mA
R _{DS(on)}	—	—	8.0	mΩ	V _{GS} = 10V, I _D = 62A Ⓣ
V _{GS(th)}	2.0	—	4.0	V	V _{DS} = V _{GS} , I _D = 250μA
g _{fs}	44	—	—	S	V _{DS} = 25V, I _D = 62AⓉ
I _{DSS}	—	—	25	μA	V _{DS} = 55V, V _{GS} = 0V
I _{DSS}	—	—	250	μA	V _{DS} = 44V, V _{GS} = 0V, T _J = 150°C
I _{DSS}	—	—	100	nA	V _{GS} = 20V
I _{DSS}	—	—	-100	nA	V _{GS} = -20V
Q _g	—	—	146	nC	I _D = 62A
Q _{gs}	—	—	35	nC	V _{DS} = 44V
Q _{gd}	—	—	54	nC	V _{GS} = 10V, See Fig. 6 and 13
t _{d(on)}	—	14	—	ns	V _{DD} = 28V
t _r	—	101	—	ns	I _D = 62A
t _{d(off)}	—	50	—	ns	R _θ = 4.5Ω
t _f	—	65	—	ns	V _{GS} = 10V, See Fig. 10 Ⓣ
L _D	—	4.5	—	nH	Between lead, 8mm (0.25in.) from package and center of die contact
L _S	—	7.5	—	nH	
C _{iss}	—	3247	—	pF	V _{GS} = 0V
C _{oss}	—	781	—	pF	V _{DS} = 25V
C _{rsb}	—	211	—	pF	f = 1.0MHz, See Fig. 5
E _{AS}	—	1050	2540	mJ	I _{AS} = 62A, L = 138μH

Source-Drain Ratings and Characteristics

Parameter	Min.	Typ.	Max.	Units	Conditions
I _S	—	—	110	A	MOSFET symbol showing the integral reverse p-n junction diode.
I _{SM}	—	—	390	A	
V _{SD}	—	—	1.3	V	T _J = 25°C, I _S = 62A, V _{GS} = 0V Ⓣ
t _{rv}	—	89	104	ns	T _J = 25°C, I _S = 62A
Q _{rv}	—	143	215	nC	di/dt = 100A/μs Ⓣ
t _{on}	—	—	—	ns	Intrinsic turn-on time is negligible (turn-on is dominated by L _G +L _D)

Notes:

- Ⓣ Repetitive rating; pulse width limited by max. junction temperature. (See fig. 11)
- Ⓣ Starting T_J = 25°C, L = 138μH, R_θ = 25Ω, I_{AS} = 62A. (See Figure 12)
- Ⓣ I_{SD} ≤ 62A, di/dt ≤ 207A/μs, V_{DD} ≤ V_{(BR)DSS}, T_J ≤ 175°C
- Ⓣ Pulse width ≤ 400μs; duty cycle ≤ 2%.
- Ⓣ Calculated continuous current based on maximum allowable junction temperature. Package limitation current is 75A.
- Ⓣ This is a typical value at device destruction and represents operation outside rated limits.
- Ⓣ This is a calculated value limited to T_J = 175°C.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

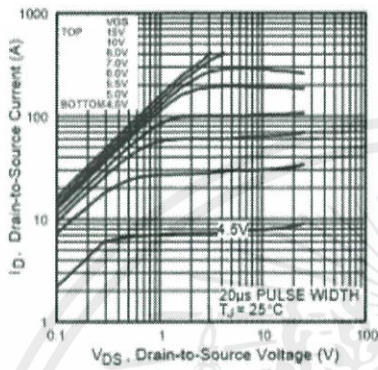


Fig 1. Typical Output Characteristics

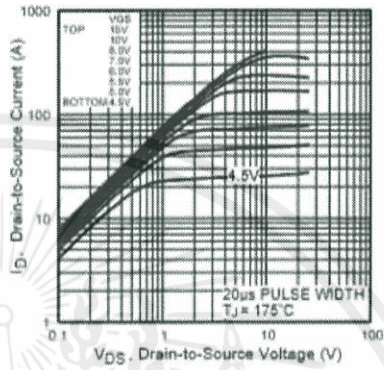


Fig 2. Typical Output Characteristics

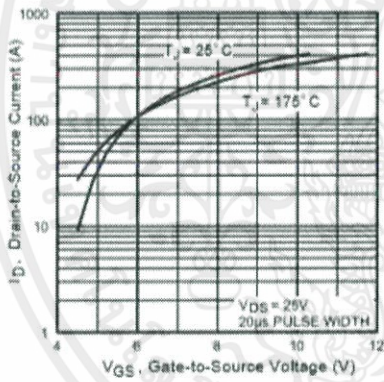


Fig 3. Typical Transfer Characteristics

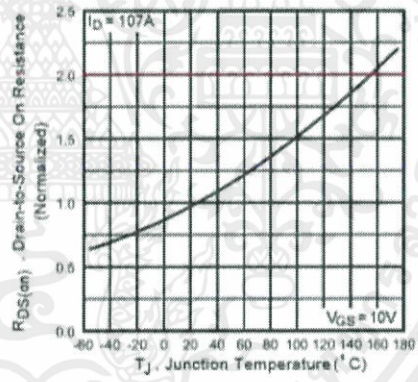


Fig 4. Normalized On-Resistance Vs. Temperature

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

IRF3205

International
IR Rectifier

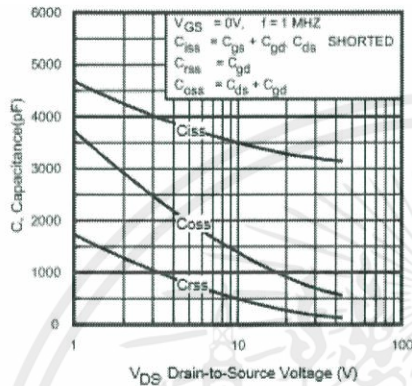


Fig 5. Typical Capacitance Vs. Drain-to-Source Voltage

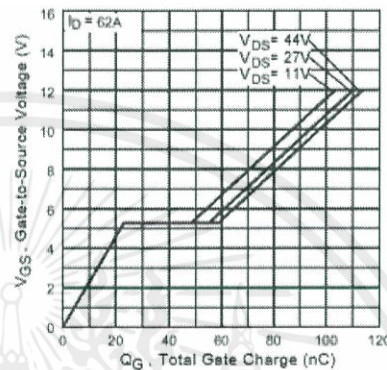


Fig 6. Typical Gate Charge Vs. Gate-to-Source Voltage

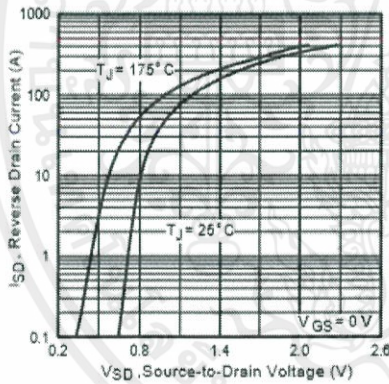


Fig 7. Typical Source-Drain Diode Forward Voltage

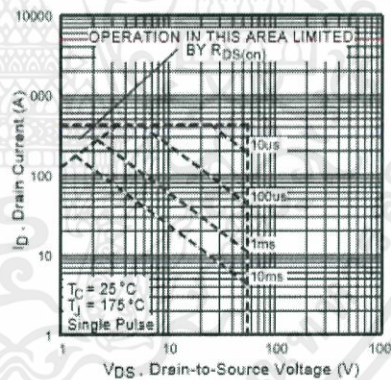


Fig 8. Maximum Safe Operating Area

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

International
IOR Rectifier

IRF3205

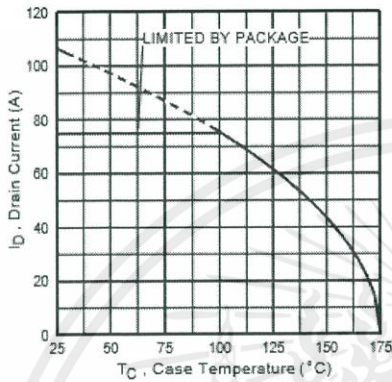


Fig 9. Maximum Drain Current Vs. Case Temperature

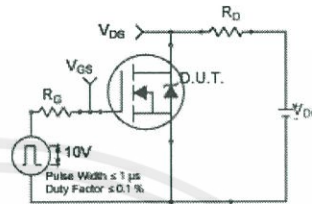


Fig 10a. Switching Time Test Circuit

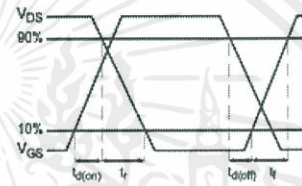


Fig 10b. Switching Time Waveforms

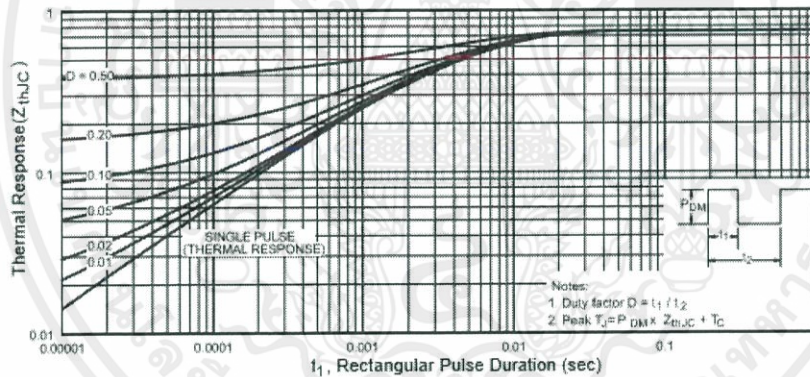


Fig 11. Maximum Effective Transient Thermal Impedance, Junction-to-Case

www.irf.com

5

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

IRF3205

International
IOR Rectifier

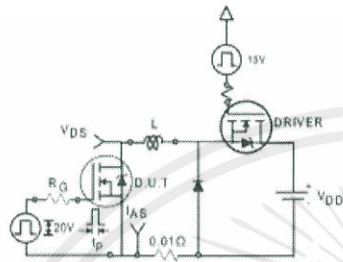


Fig 12a. Unclamped Inductive Test Circuit

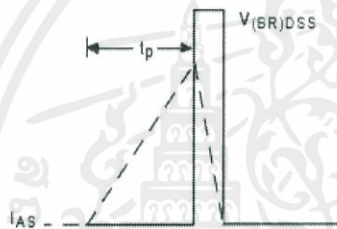


Fig 12b. Unclamped Inductive Waveforms

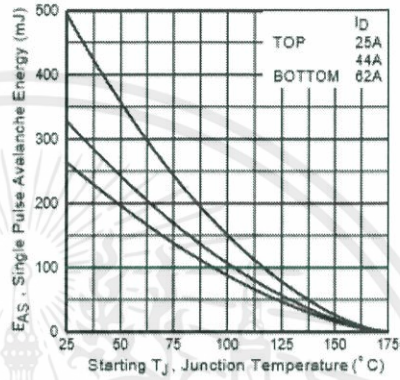


Fig 12c. Maximum Avalanche Energy Vs. Drain Current

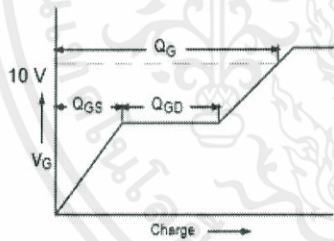


Fig 13a. Basic Gate Charge Waveform

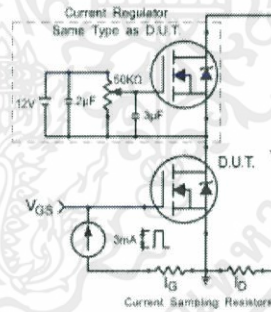


Fig 13b. Gate Charge Test Circuit

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

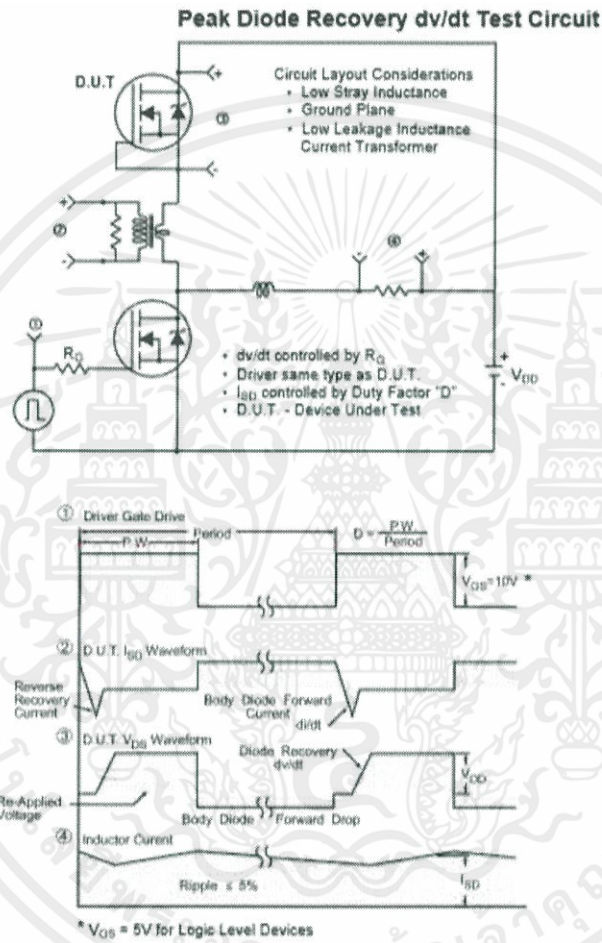


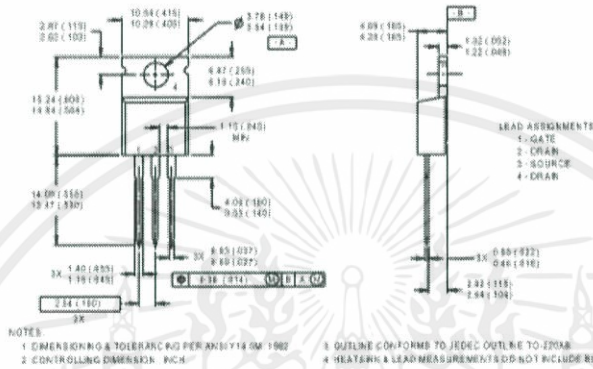
Fig 14. For N-Channel HEXFETS

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

IRF3205
Package Outline
TO-220AB Outline

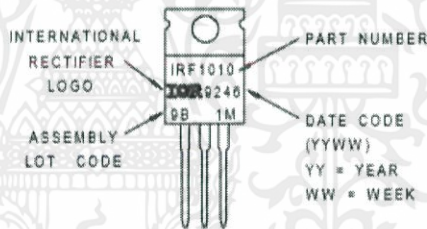


Dimensions are shown in millimeters (inches)



Part Marking Information
TO-220AB

EXAMPLE: THIS IS AN IRF1010
 WITH ASSEMBLY
 LOT CODE 9B1M



Data and specifications subject to change without notice.
 This product has been designed and qualified for the automotive (Q101) market.
 Qualification Standards can be found on IR's Web site.



IR WORLD HEADQUARTERS: 233 Kansas St., El Segundo, California 90245, USA Tel: (310) 252-7105
 TAC Fax: (310) 252-7903

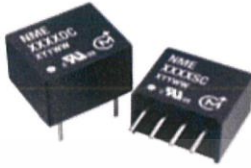
Visit us at www.irf.com for sales contact information.01/01

www.irf.com



NME Series

Isolated 1W Single Output DC-DC Converters



FEATURES

- Short circuit protection options
- UL 60950 recognised
- Single isolated output
- 1kVDC Isolation 'Hi Pot Test'
- Wide temperature performance at full 1 watt load, -40°C to 85°C²
- Industry standard pinout
- 5V, 12V, 15V & 24V input
- 5V, 9V, 12V and 15V output
- Fully encapsulated with toroidal magnetics
- No external components required
- Pin compatible with CME, CRE1, CRL2, LME, MEE1, MEE3, NKE & NML

DESCRIPTION

The NME series of DC-DC Converters is particularly suited to isolating and/or converting DC power rails. The galvanic isolation allows the device to be configured to provide an isolated negative rail in systems where only positive rails exist. The wide temperature range guarantees startup from -40°C and full 1 watt output at 85°C². For lower ripple, refer to output ripple reduction section. The NME series offers short circuit protection options (PC) across the operating temperature range. Short circuits of less than 1Ω cause the converter to enter a 'foldback' limiting mode such that the input current is approximately 95mA for 0505 variant. Protection is continuous and auto-resetting on removal of the short circuit.

Order Code	Nominal Input Voltage		Output Current		Input Current at Rated Load		Load Regulation ¹		Ripple & Noise		Efficiency (Min)		Efficiency (Typ)		Isolation Capacitance		MTTF		Package Style	
	V	V	mA	mA	mA	mA	%	%	mV p-p	mV p-p	%	%	pF	pF	MIL	Tel.				
							Typ. Max.		Typ. Max.											
	Recommended										In Production									
NME0505DC	5	5	200	286	12	14	16	40	69	30	3415									
NME0509DC	5	9	111	260	8	9	60	75	77	37	3078									DIP
NME0512DC	5	12	83	256	6.5	7.5	50	65	78	33	2205									
NME0515DC	5	15	67	250	6	7.5	10	25	80	40	1532									
NME0524DC	5	24	42	248	5.5	7.5	140	180	80	48										
NME0505SC	5	5	200	286	12	14	16	40	69	30	3415									
NME0509SC	5	9	111	260	8	9	60	75	77	37	3078									
NME0512SC	5	12	83	256	6.5	7.5	50	65	78	33	2205									SIP
NME0515SC	5	15	67	250	6	7.5	10	25	80	40	1532									
NME0524SC	5	24	42	248	5.5	7.5	140	180	80	48										
NME1205DC	12	5	200	117	8	10	12	30	69	33	2493									
NME1212DC	12	12	83	104	4	5	8	20	76	55	1780									DIP
NME1215DC	12	15	67	110	3	4	40	55	75	52	1313									
NME1205SC	12	5	200	117	8	10	12	30	69	33	2493									
NME1209SC	12	9	111	115	5	5.5	60	75	74	48	2311									
NME1212SC	12	12	83	104	4	5	50	65	76	55	1780									SIP
NME1215SC	12	15	67	111	3	4	40	55	75	52	1313									
NME1515SC	15	15	67	81	2.5	3		150	82											
NME2405DC	24	5	200	58	8.5	10		150	70	40	201									
NME2412DC	24	12	83	52	3	4		150	80	78	163									DIP
NME2415DC	24	15	67	51	2.5	3		150	80	79	136									
NME2405SC	24	5	200	58	8.5	10		150	70	40	201									
NME2412SC	24	12	83	52	3	4		150	80	78	163									SIP
NME2415SC	24	15	67	51	2.5	3		150	80	79	136									
Short Circuit Protection Options																				
NME0505SPC	5	5	200	255	9.5	12	11	25	75	22	2887	47047	SIP							
NME0505DPC	5	5	200	255	9.5	12	11	25	75	22	2887	47047	DIP							
Discontinued																				
NME1209DC	12	9	111	115	4	5	50	75	74	48	2311									MEE151209DC
NME2409DC	24	9	111	54	4	5		150	75	48	185									MEE152409DC
NME2409SC	24	9	111	54	4	5		150	75	59	165									SIP

INPUT CHARACTERISTICS					
Parameter	Conditions	Min.	Typ.	Max.	Units
Voltage range	Continuous operation, 5V input types	4.5	5.0	5.5	V
	Continuous operation, 12V input types	10.8	12.0	13.2	
	Continuous operation, 15V input types	13.5	15	16.5	
	Continuous operation, 24V input types	21.6	24	26.4	
Input short circuit current	Short circuit variants		95		mA
	Short circuit variants		3	15	
Input Reflected ripple current	15V input type			90	mA p-p
	All other variants ³			26	48

1. Calculated using MIL-HDBK-217 FN2 and Telcordia SR-332 calculation model with nominal input voltage at full load.
 2. NME1515SC, NME2409DC prior to date code X1635 have operating temperature range of 0 to 70°C.
 3. Excludes 24V input types.
 All specifications typical at Ta=25°C, nominal input voltage and rated output current unless otherwise specified.



For full details go to www.murata-ps.com/vhs



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่าจะกรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

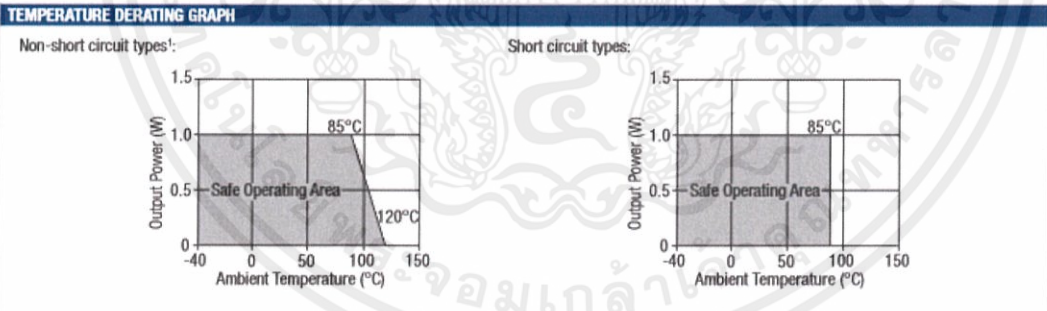
OUTPUT CHARACTERISTICS					
Parameter	Conditions	Min.	Typ.	Max.	Units
Rated Power	See derating curves			1.0	W
Voltage Set Point Accuracy	See tolerance envelope				
Line regulation	High V_{in} to low V_{in} ; All short circuit types		1.15	1.2	%/%
	High V_{in} to low V_{in} ; All other output types		1.0	1.2	%/%

ISOLATION CHARACTERISTICS					
Parameter	Conditions	Min.	Typ.	Max.	Units
Isolation test voltage	Flash tested for 1 second	1000			VDC
Resistance	V_{iso} = 1000VDC		10		GΩ

GENERAL CHARACTERISTICS					
Parameter	Conditions	Min.	Typ.	Max.	Units
Switching frequency	5V input types		110		kHz
	12V input types		145		
	15V input types		100		
	24V input types		100		
	Short circuit types		91		

TEMPERATURE CHARACTERISTICS					
Parameter	Conditions	Min.	Typ.	Max.	Units
Specification	All output types ¹	-40		85	°C
Storage		-50		130	
Case Temperature above ambient	Non-short circuit types			41	
	5V output types All other output types ²			32	
Cooling	Short circuit types (DIP)		23		
	Short circuit types (SIP) Free air convection		24		

ABSOLUTE MAXIMUM RATINGS	
Lead temperature 1.5mm from case for 10 seconds	260°C
Input voltage V_{in} , NME05 types	7V
Input voltage V_{in} , NME12 types	15V
Input voltage V_{in} , NME15 types	18V
Input voltage V_{in} , NME24 types	28V



1. NME151SSC, NME2400XC prior to date code X1635 have operating temperature range of 0 to 70°C.
 2. Excludes 24V input types.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

TECHNICAL NOTES
ISOLATION VOLTAGE

'Hi Pot Test', 'Flash Tested', 'Withstand Voltage', 'Proof Voltage', 'Dielectric Withstand Voltage' & 'Isolation Test Voltage' are all terms that relate to the same thing, a test voltage, applied for a specified time, across a component designed to provide electrical isolation, to verify the integrity of that isolation.

Murata Power Solutions NME series of DC-DC converters are all 100% production tested at their stated isolation voltage. This is 1KVDC for 1 second.

A question commonly asked is, "What is the continuous voltage that can be applied across the part in normal operation?"

The NME has been recognised by Underwriters Laboratory for functional insulation, both input and output should normally be maintained within SELV limits i.e. less than 42.4V peak, or 60VDC. The isolation test voltage represents a measure of immunity to transient voltages and the part should never be used as an element of a safety isolation system. The part could be expected to function correctly with several hundred volts offset applied continuously across the isolation barrier; but then the circuitry on both sides of the barrier must be regarded as operating at an unsafe voltage and further isolation/insulation systems must form a barrier between these circuits and any user-accessible circuitry according to safety standard requirements.

REPEATED HIGH-VOLTAGE ISOLATION TESTING

It is well known that repeated high-voltage isolation testing of a barrier component can actually degrade isolation capability, to a lesser or greater degree depending on materials, construction and environment. The NME series has toroidal isolation transformers, with no additional insulation between primary and secondary windings of enamelled wire. While parts can be expected to withstand several times the stated test voltage, the isolation capability does depend on the wire insulation. Any material, including this enamel (typically polyurethane) is susceptible to eventual chemical degradation when subject to very high applied voltages thus implying that the number of tests should be strictly limited. We therefore strongly advise against repeated high voltage isolation testing, but if it is absolutely required, that the voltage be reduced by 20% from specified test voltage.

This consideration equally applies to agency recognised parts rated for better than functional isolation where the wire enamel insulation is always supplemented by a further insulation system of physical spacing or barriers.

SAFETY APPROVAL

The NME series has been recognised by Underwriters Laboratory (UL) to UL 60950 for functional insulation in a maximum ambient temperature of 85°C and/or case temperature limit of 100°C. Case temperature measured on the face opposite the pins.

The NME Series of converters are not internally fused so to meet the requirements of UL 60950 an anti-surge input line fuse should always be used with ratings as defined below.

NME05xxxxC: 0.5A

NME12xxxxC: 0.25A

NME15xxxxC: 0.2A

NME24xxxxC: 0.12A

All fuses should be UL recognised and rated at 125V.

File number E151252 applies.

RoHS COMPLIANCE INFORMATION


This series is compatible with RoHS soldering systems with a peak wave solder temperature of 260°C for 10 seconds. The pin termination finish on the SIP package type is Tin Plate, Hot Dipped over Matte Tin with Nickel Preplate. The DIP types are Matte Tin over Nickel Preplate. Both types in this series are backward compatible with Sn/Pb soldering systems.

For further information, please visit www.murata-ps.com/rohs

APPLICATION NOTES

Minimum load

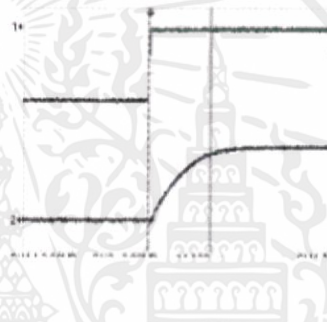
The minimum load to meet datasheet specification is 10% of the full rated load across the specified input voltage range. Lower than 10% minimum loading will result in an increase in output voltage, which may rise to typically double the specified output voltage if the output load falls to less than 5%.

Capacitive loading and start up

Typical start up times for this series, with a typical input voltage rise time of 2.2 μ s and output capacitance of 10 μ F, are shown in the table below. The product series will start into a capacitance of 47 μ F with an increased start time, however, the maximum recommended output capacitance is 10 μ F.

	Start-up time μ s
NME0505XC	991
NME0509XC	3524
NME0512XC	5630
NME0515XC	7750
NME0524XC	19850
NME1205XC	682
NME1209XC	2102
NME1212XC	4030
NME1215XC	6193
NME1515SC	685
NME2405XC	135
NME2409XC	260
NME2412XC	430
NME2415XC	640
NME0505XPC	350

Typical Start-Up Wave Form



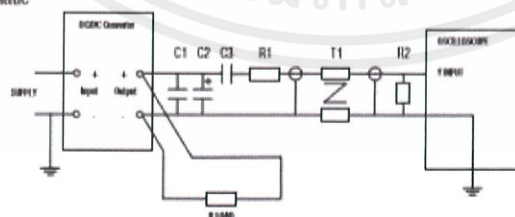
Ripple & Noise Characterisation Method

Ripple and noise measurements are performed with the following test configuration.

C1	1 μ F X7R multilayer ceramic capacitor, voltage rating to be a minimum of 3 times the output voltage of the DC-DC converter
C2	10 μ F tantalum capacitor, voltage rating to be a minimum of 1.5 times the output voltage of the DC-DC converter with an ESR of less than 100m Ω at 100 kHz
C3	100nF multilayer ceramic capacitor, general purpose
R1	450 Ω resistor, carbon film, \pm 1% tolerance
R2	50 Ω BNC termination
T1	3T of the coax cable through a ferrite toroid
RLOAD	Resistive load to the maximum power rating of the DC-DC converter. Connections should be made via twisted wires

Measured values are multiplied by 10 to obtain the specified values.

Differential Mode Noise Test Schematic



APPLICATION NOTES (continued)

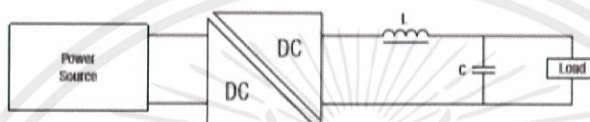
Output Ripple Reduction

By using the values of inductance and capacitance stated, the output ripple at the rated load is lowered to 5mV p-p max.

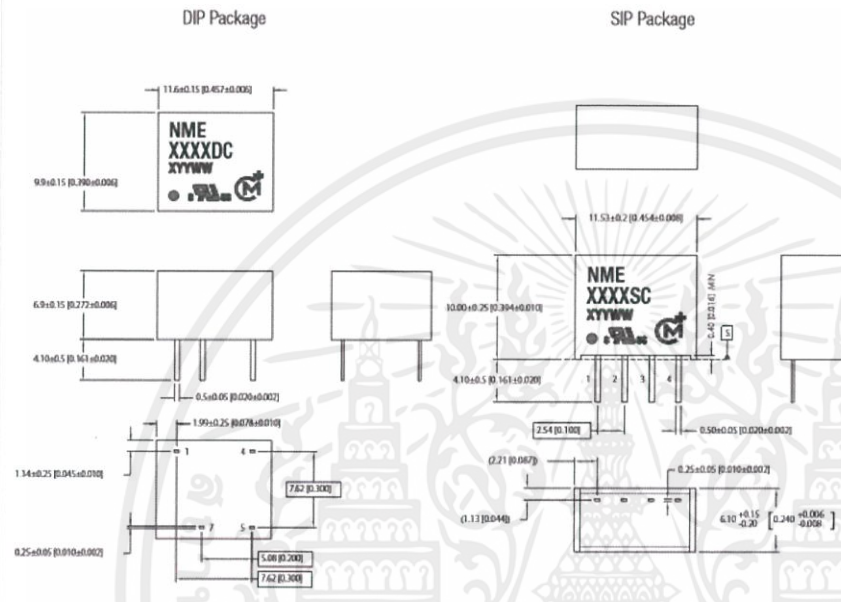
Component selection

Capacitor: It is required that the ESR (Equivalent Series Resistance) should be as low as possible, ceramic types are recommended. The voltage rating should be at least twice (except for 15V output), the rated output voltage of the DC-DC converter.

Inductor: The rated current of the inductor should not be less than that of the output of the DC-DC converter. At the rated current, the DC resistance of the inductor should be such that the voltage drop across the inductor is <2% of the rated voltage of the DC-DC converter. The SRF (Self Resonant Frequency) should be >20MHz.



	L, μ H	Inductor		Capacitor C, μ F
		SMD	Through Hole	
NME0505XC	47	82473C	11R473C	4.7 μ F
NME0509XC	47	82473C	11R473C	1 μ F
NME0512XC	68	82683C	11R683C	1 μ F
NME0515XC	100	82104C	11R104C	0.47 μ F
NME0524XC	100	82104C	11R104C	0.47
NME1205XC	100	82104C	11R104C	4.7 μ F
NME1209XC	47	82473C	11R473C	1 μ F
NME1212XC	68	82683C	11R683C	0.47 μ F
NME1215XC	100	82104C	11R104C	0.47 μ F
NME1515SC				
NME2405XC				
NME2409XC				
NME2412XC				
NME2415XC				
NME0505XPC	22	82223C	11R223C	1 μ F

PACKAGE SPECIFICATIONS
MECHANICAL DIMENSIONS


All dimensions in mm (inches) Controlling dimension is mm.

All pins on a 2.54 (0.100) pitch and within ± 0.1 (0.004) of true position from pin 1 at seating plane 'S'.

Weight: 1.30g (SIP) 1.48g (DIP) 1.5g (SP DIP)

PIN CONNECTIONS - 8 PIN DIP

Pin	Function
1	-Vin
4	+Vin
5	+Vout
7	-Vout

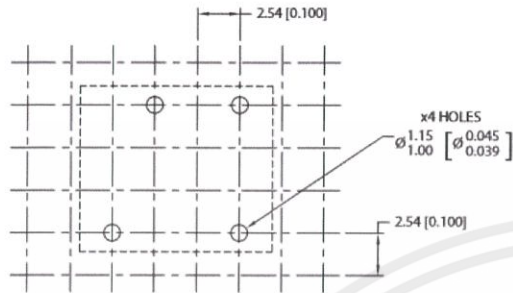
PIN CONNECTIONS - 4 PIN SIP

Pin	Function
1	-Vin
2	+Vin
3	-Vout
4	+Vout

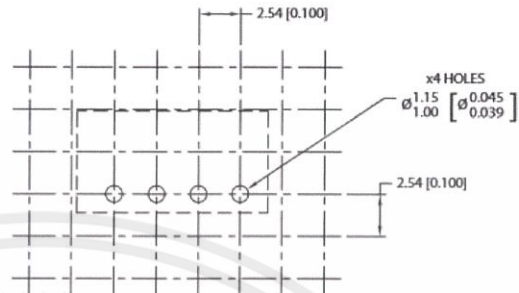
PACKAGE SPECIFICATIONS (continued)

RECOMMENDED FOOTPRINT DETAILS

8 Pin DIP Package

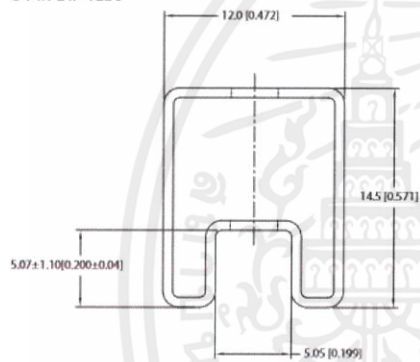


4 Pin SIP Package

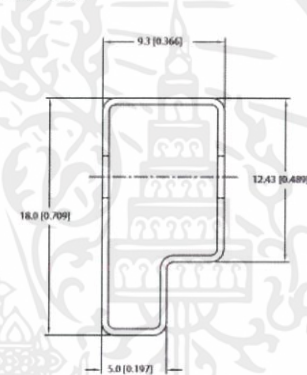


TUBE OUTLINE DIMENSIONS

8 Pin DIP Tube



4 Pin SIP Tube



Unless otherwise specified all dimensions in mm [inches] ± 0.55mm [0.022]
 Tube Length (8 Pin DIP) : 520mm [20.472] ± 2.0 [0.079]
 Tube Length (4 Pin SIP) : 520mm [20.472] ± 2.0 [0.079]

Tube Quantity : 35

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ประวัติผู้เขียน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ชื่อ-นามสกุล ปฏิภาณ เหล่ากอ
วัน เดือน ปีเกิด 19 ธันวาคม 2537
ที่อยู่ 95 หมู่ 1 ต.บ้านเหล่า อ.สูงเม่น จ.แพร่ 54130
ประวัติการศึกษา
ปีการศึกษา 2555 สำเร็จการศึกษาระดับศึกษาตอนปลาย
จากโรงเรียนพิริยาลัย
ปีการศึกษา 2560 สำเร็จการศึกษาระดับวิศวกรรมศาสตร์ สาขาวิศวกรรมไฟฟ้ากำลัง
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ฝึกภาคฤดูร้อน บริษัท ไรท์แมน จำกัด
ระหว่างวันที่ 1 มิถุนายน ถึง 27 กรกฎาคม 2560

ชื่อ-นามสกุล ปธานิน พานิช
วัน เดือน ปีเกิด 31 สิงหาคม 2537
ที่อยู่ 18 ถ.วิบูลย์ ซ.5 ต.หายยา อ.เมือง จ.เชียงใหม่ 50100
ประวัติการศึกษา
ปีการศึกษา 2555 สำเร็จการศึกษาระดับศึกษาตอนปลาย
จากโรงเรียนปรินส์รอยแยลส์วิทยาลัย
ปีการศึกษา 2560 สำเร็จการศึกษาระดับวิศวกรรมศาสตร์ สาขาวิศวกรรมไฟฟ้ากำลัง
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ฝึกภาคฤดูร้อน บริษัท ไรท์แมน จำกัด
ระหว่างวันที่ 1 มิถุนายน ถึง 27 กรกฎาคม 2560

ชื่อ-นามสกุล ปาฏิหารย์ ตั้งติสานนท์
 วัน เดือน ปีเกิด 8 สิงหาคม 2538
 ที่อยู่ 9/145 ถนนร่มเกล้า ซอย ร่มเกล้า19 แขวงคลองสามประเวศ เขตลาดกระบัง กทม 10520
 ประวัติการศึกษา
 ปีการศึกษา 2556 สำเร็จการศึกษาระดับศึกษาตอนปลาย
 จากโรงเรียนเตรียมอุดมศึกษาสุวินทวงศ์
 ปีการศึกษา 2560 สำเร็จการศึกษาระดับวิศวกรรมศาสตร์ สาขาวิศวกรรมไฟฟ้ากำลัง
 สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
 ฝึกภาคฤดูร้อน การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย เชื้อนภูมิพล
 ระหว่างวันที่ 1 มิถุนายน ถึง 27 กรกฎาคม 2560

ชื่อ-นามสกุล ปิยรัฐ ขาวราษฎร์
 วัน เดือน ปีเกิด 10 สิงหาคม 2538
 ที่อยู่ 126 แขวงดอนเมือง เขตดอนเมือง กทม 10210
 ประวัติการศึกษา
 ปีการศึกษา 2556 สำเร็จการศึกษาระดับศึกษาตอนปลาย
 จากโรงเรียนนวมินทราชินูทิศ หอวัง นนทบุรี
 ปีการศึกษา 2560 สำเร็จการศึกษาระดับวิศวกรรมศาสตร์ สาขาวิศวกรรมไฟฟ้ากำลัง
 สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
 ฝึกภาคฤดูร้อน บริษัท จาร์ตินเอ็นจิเนียริง จำกัด
 ระหว่างวันที่ 1 มิถุนายน ถึง 27 กรกฎาคม 2560